



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

UAEM

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA

**“VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA ANTE UN SISMO EN EL
MUNICIPIO DE ACAMBAY”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
GEOGRAFIA**

PRESENTA:

IVÁN EDUARDO CARRANZA BONIFACIO

ASESOR

DR. LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

REVISORES

DR. JOSÉ EMILIO BARO SUAREZ

M. EN G. JULIO CARBAJAL MONROY

TOLUCA DE LERDO, MÉXICO, 2015

ÍNDICE

Resumen	8
Abstract	8
i. Introducción	9
ii. Planteamiento del problema	11
iii. Justificación	11
iv. Tipo de investigación	12
v. Variables	13
vi. Hipótesis	14
vii. Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
viii. Antecedentes	14
1. Marco legal, normativo e institucional	17
1.1. Marco legal	18
1.2. Normatividad	21
1.3. Institucional	21
2. Marco teórico	25
2.1. La vulnerabilidad como parte del riesgo	25
2.1.1. Vulnerabilidad social	27
2.1.2. Vulnerabilidad estructural	30
2.1.3. Vulnerabilidad no estructural.	32
2.2. Riesgo Sísmico	32
2.2.1. Amenaza sísmica	33
2.2.2. Amenazas colaterales	34
2.2.3. Determinación de los efectos locales	35
2.2.4. Efectos del suelo	35
2.2.5. Capacidad destructiva de los sismos	36
2.3. Sismicidad	36
2.3.1. Fallas geológicas	36
2.3.2. Sismos	38

2.3.3.	Ondas sísmicas	38
2.3.4.	Magnitud	38
2.3.5.	La intensidad	39
2.3.6.	Relación entre intensidad y magnitud	39
2.3.7.	Intensidad macrosísmica	40
2.3.8.	Aceleración sísmica	40
3.	Marco metodológico	42
3.1.	Selección de las metodologías de evaluación	42
3.2.	Método para evaluar la vulnerabilidad socioeconómica	43
3.2.1.	Etapas 1 Cálculo de la peligrosidad sísmica	45
3.2.2.	Etapas 2 Cálculo del análisis de vulnerabilidad	45
3.2.3.	Evaluación de la capacidad de reacción	49
3.2.4.	Etapas 3. Escenarios de desastre	50
4.	Caracterización física y social del área de estudio, Acambay	51
4.1.	Caracterización físico-geográfica, Acambay	51
4.1.1.	Geología	51
4.1.2.	Geomorfología	54
4.1.3.	Hidrografía	55
4.1.4.	Características y uso de suelo	56
4.2.	Caracterización social, económica y demográfica	59
4.2.1.	Dinámica demográfica	59
4.2.2.	Distribución de la población	59
4.2.3.	Estructura poblacional	60
4.2.4.	Densidad de población	61
4.2.5.	Escolaridad	64
4.2.6.	Población con discapacidad	65
4.2.7.	Marginación y vulnerabilidad ante el desastre sísmico	66
4.2.8.	Actividad económica primaria	70
4.2.9.	Actividad económica secundaria	71
4.2.10.	Actividad económica terciaria	71

4.2.11. Población económicamente activa PEA	72
4.3. La población demográficamente más vulnerable	73
4.4. Aspectos socioeconómicos de la población	77
5. Peligro sísmico	78
5.1.1. Movimientos tectónicos horizontales recientes	82
6. Análisis de la vulnerabilidad y evaluación ante el riesgo sísmico	84
6.1. Análisis de la zona urbana de Acambay (Cabecera Municipal)	84
6.2. Análisis de la capacidad de reacción	101
7. Escenario de riesgo sísmico	103
Conclusiones	106
Recomendaciones	108
Bibliografía	112

Índice de figuras

Capítulo	Número	Título	Página
	1	Localización del municipio de Acambay.	9
2	2	Tipos de fallas de acuerdo con los ejes de esfuerzo regional.	37
3	3	Estructura general del marco metodológico.	44
4	4	Ubicación geográfica del municipio de Acambay.	51
	5	Delimitación del graben de Acambay.	52
	6	Geología de Acambay.	53
	7	Gráfica de Distribución de uso de suelo.	57
	8	Edafología de Acambay.	58
	9	Gráfica de Evolución de la población del municipio de Acambay 1990 – 2010.	59
	10	Gráfica de Distribución de la población municipal.	60
	11	Gráfica de Distribución de la población por sexo.	60
	12	Gráfica de Distribución de la población por edad	61
	13	Densidad de población.	63
	14	Gráfica de Población de 15 años y más.	64
	15	Gráfica de Población con discapacidad.	65
	16	Marginación.	69
	17	Gráfica de Principales cultivos de acuerdo con la superficie sembrada en hectáreas, 2011.	70
	18	Parroquia de San Miguel Acambay.	72
	19	Zona arqueológica otomí de Huamango.	72
	20	Gráfica de Indicadores de participación económica.	73
	21	Población 60 años y más.	75
	22	Población menor de 12 años.	76
	23	Población total censada a partir de 1930 a 2010.	77

5	24	Complejo sistema de fallas, fosas tectónicas y pilares, y manifestaciones volcánicas que atraviesan al Cinturón Volcánico Transversal.	80
	25	Localización de los signos geodésicos, y perfil morfoestructural y de las velocidades de los movimientos tectónicos verticales recientes en el contexto del sistema horst de Santa María Tixmadejé - graben de Acambay.	82
6	26	Médicos por cada 100 habitantes.	87
	27	% de la Población no derechohabiente.	88
	28	% de Analfabetismo.	91
	29	Demanda de educación básica.	92
	30	Grado promedio de escolaridad.	93
	31	Razón de dependencia.	96
	32	Tasa de desempleo abierta	97
	33	Mapa de vulnerabilidad socioeconómica.	100
7	34	Mapa de escenario de riesgo	105

Índice de tablas

Capítulo	Número	Título	Página
	1	Variables dependientes e independientes.	13
2	2	Relación entre intensidad y magnitud sísmica.	40
	3	Relación de la aceleración con la escala de Mercalli.	41
3	4	Indicadores para el rubro de salud.	46
	5	Indicadores para el rubro de educación.	47
	6	Indicadores para el rubro de vivienda.	48
	7	Indicadores para el rubro de empleo e ingresos.	48
	8	Indicadores para el rubro de población.	48
	9	Indicadores para el rubro de vivienda.	50

4	10	Densidad de población.	62
	11	Clasificación de marginación en el municipio de Acambay	67
	12	Unidades económicas del municipio de Acambay	71
5	13	Magnitud de los movimientos tectónicos verticales recientes en el semihorst septentrional y en el semigraben central de Acambay.	83
6	14	Variable de salud.	85
	15	Infraestructura de salud.	85
	16	Variable de educación.	89
	17	Variable de vivienda.	94
	18	Variable de empleo e ingresos.	95
	19	Variable de población de habla indígena.	98
	20	Obtención del valor de vulnerabilidad socioeconómica.	99
	21	Capacidad de reacción a partir de la vulnerabilidad.	102

VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA ANTE UN SISMO EN EL MUNICIPIO DE ACAMBAY

SOCIOECONOMIC VULNERABILITY TO AN EARTHQUAKE IN THE MUNICIPALITY OF ACAMBAY

Resumen

La acción producida por los terremotos sobre los entornos urbanos se traduce en innumerables pérdidas en todos los ámbitos de la sociedad. Las pérdidas económicas y de vidas humanas son las principales consecuencias, no sólo se encuentran relacionadas de forma directa con el impacto del evento sísmico, además influye la capacidad desarrollada en prevención de desastres, la falta de organización institucional y comunitaria, las deficiencias en atención de emergencias, la inestabilidad política y las limitaciones económicas. Este estudio se orienta en la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica a consecuencia del riesgo sísmico en la cabecera municipal del municipio de Acambay, Estado de México y se pretende establecer los niveles de vulnerabilidad tomando como referencia la metodología de CENAPRED en el supuesto de ocurrir un sismo, apoyado en la tecnología y en los beneficios que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramienta avanzada de gestión de información espacial y temática, que (Urbina & Camacho, 1913) permite la presentación de la información y de los resultados de forma georreferenciada.

Palabras Clave: Vulnerabilidad socioeconómica, riesgo sísmico, sociedad.

Abstract

The action produced by earthquakes on urban environments results in countless losses in all areas of society. The economic and human losses are the main consequences are not only directly related to the impact of the seismic event, also influences the capacity developed in disaster prevention, lack of institutional and community organization, deficiencies in care emergencies, political instability and economic constraints. This study is aimed at evaluating the socio-economic vulnerability as a result of seismic risk in the municipal head of the municipality of Acambay, State of Mexico and will establish vulnerability levels by reference methodology CENAPRED occur in the course of an earthquake , supported by technology and the benefits provided by Geographic Information Systems (GIS) and advanced management tool spatial and thematic information, which allows the presentation of information and the results of georeferenced form.

Keywords: socio-economic vulnerability, seismic risk, society.

i. Introducción

Acambay es un municipio que se localiza al Norte de la ciudad de Toluca que pertenece al Sistema Volcánico Mexicano (Figura 1). En esta región se localizan numerosas fallas geológicas que al encontrarse activas pueden provocar sismos de alta magnitud la cual afecta a la población que se encuentra radicando cerca de la zona de riesgo como lo es la falla de Acambay – Tixmadejé. Haciendo mención del suceso del 19 de noviembre de 1912 en donde un movimiento provocado por el dinamismo de esta falla origino un terremoto con magnitud de 7.4 grados en escala de Richter. Los daños ocasionados fueron devastadores dejando sin servicios y vivienda a la mayoría de la población, los damnificados por este suceso no recibieron ningún apoyo por parte de las autoridades gubernamentales y su capacidad de reacción fue lenta.

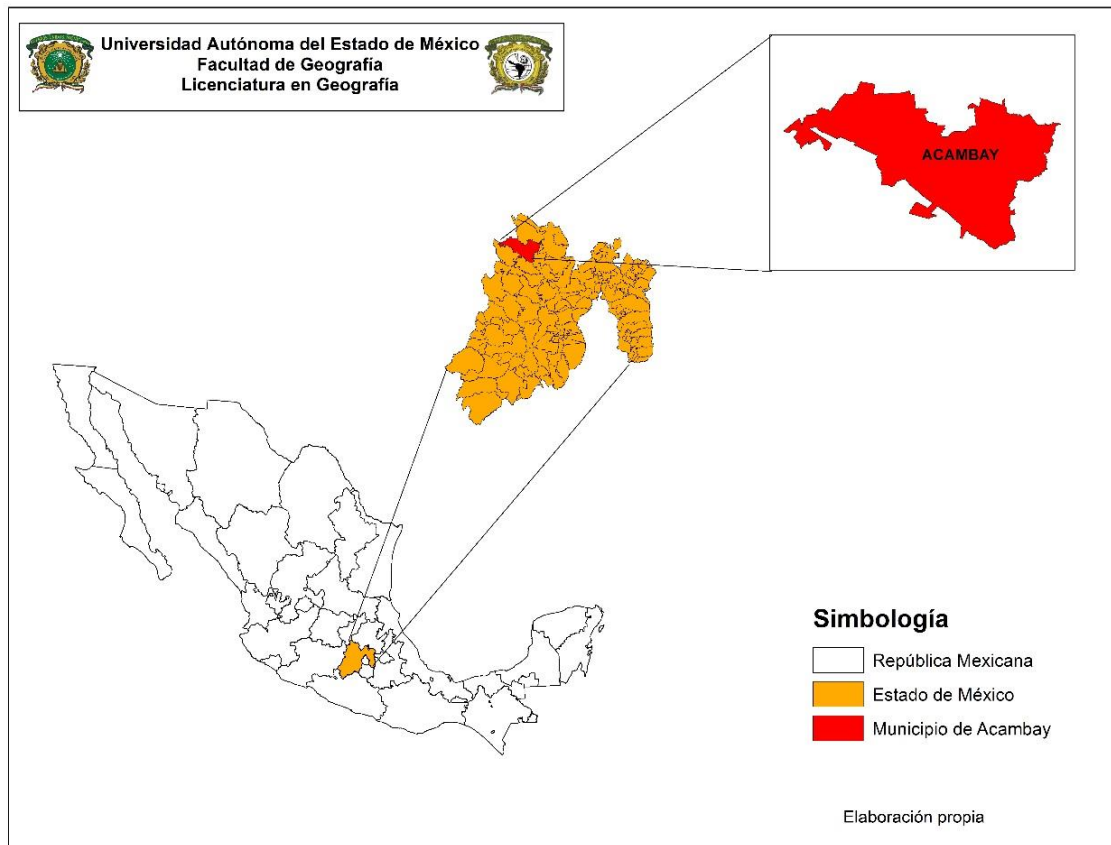


Figura 1. Localización del municipio de Acambay. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte pueblos como La Soledad, Boctó, Pueblo Nuevo y San Pedro de los Metates no sufrieron ningún daño material, sin embargo las necesidades primarias como la falta de alimentos eran notorias y para minimizar esta decadencia se recibió el apoyo de las embajadas de Alemania y Austria (Lugo y Ruiz, 2012).

Y es así como este evento sísmico deja como antecedente la probabilidad de que ocurra un temblor de igual o mayor intensidad ocasionada por el constante dinamismo que este presenta y a su vez el centro del país se vería afectado de forma importante debido al alcance que tienen las ondas sísmicas y la composición litológica por la que se desplazan.

Hoy en día el municipio se encuentra consolidado y estable, sin embargo surge la siguiente pregunta, ¿La población de Acambay, más aún la cabecera municipal de Acambay se encuentra preparada socioeconómicamente, para resistir un sismo como el de 1912?, para determinar la vulnerabilidad socioeconómica se debe realizar un estudio del cual se obtendrá una aproximación de la pérdidas económicas y sociales más específico de la cabecera municipal ya que es donde se localizan los servicios básicos siendo así la zona administrativa del municipio, de igual forma es necesario conocer si cuenta con un ordenamiento territorial y un reglamento antisísmico que permita reducir la vulnerabilidad de su población e identificar las zonas de peligro y riesgo si llegara a suceder dicho evento, ya que las condiciones físico-socioeconómicas de la cabecera municipal cuentan con cierto grado de susceptibilidad ante los efectos de un evento sísmico, al considerar la importancia de la creación de vías de comunicación, tal es el caso de la autopista Panamericana que conecta con el Estado de Querétaro, lo que propicia un crecimiento demográfico de la sociedad. Por tal motivo es primordial hacer saber a la población a lo que está expuesta para determinar medidas si llegara a suceder dicho proceso las cuales ayuden a reducir al mínimo el daño que este pueda generar considerando que algunos autores sostienen que el borde norte del graben presenta mayor actividad sismotectónica y significativas deformaciones tectónicas del relieve (Sutter *etal*, 2001).

ii. Planteamiento del problema

A lo largo del Sistema de fallas Morelia-Acambay se han identificado segmentos que han presentado actividad sísmica reciente, sin embargo no existe un conocimiento del comportamiento sísmico en tiempos prehistóricos e históricos, ni tampoco de las recurrencias de ellos (Garduño, *et al*, 2009). Por tal motivo el enfoque de los estudios que se han realizado acerca de las fallas tiende más al saber del comportamiento físico que a lo que puede afectar a lo socioeconómico, ya que los estudios de estas solo se han enfocado a lo que es la falla.

Es por ello que este estudio de vulnerabilidad socioeconómica se determinara las pérdidas probables que se pueden presentar ante el proceso sísmico, evaluándose la capacidad de reacción de la población y establecer los niveles de vulnerabilidad para la estimación de las pérdidas económicas donde se podrá obtener la relación coste/beneficio que resulte de dicho estudio las cuales permitirán determinar escenarios para la planificación de emergencias.

iii. Justificación

Este estudio tiene como propósito realizar una investigación sobre la vulnerabilidad socioeconómica ante el riesgo sísmico donde se pueda prevenir la devastación de las actividades que el hombre ha desarrollado para mejorar su nivel y calidad de vida. Por ello es necesario localizar las zonas de riesgo ante el probable desastre de un sismo la cual determine el tipo de vulnerabilidad a la que se encuentra sometida la población, para que en un futuro dicho problema pueda ser contrarrestado, siendo importante conocer las condiciones socioeconómicas ya que son un factor determinante cuando ocurre dicho proceso sísmico, esta información debe ser útil para que las instituciones brinden apoyo a la población y ayuden a resolver algunos de los problemas que se presenten en las zonas más vulnerables.

Realizar este estudio implica evaluar no sólo la vulnerabilidad socioeconómica sino también los escenarios de amenaza ante un sismo en la región de Acambay, los cuales son esenciales para generar propuestas que permitan reforzar y mejorar el comportamiento demográfico. Además de observar cómo interactúan las medidas estructurales y no

estructurales así como el daño que pueden causar si no tienen una interacción adecuada para el desarrollo de población de Acambay ante el comportamiento sísmico no deseado.

iv. Tipo de investigación

En la investigación cuantitativa, según Sampieri, Fernández y Baptista (2006), existen cuatro tipos de investigación donde solo se utilizarán dos, las cuales son: *investigación exploratoria e investigación descriptiva*. A continuación se explicarán los casos o situaciones en las que se emplean, así como las características que las conforman, para poder determinar el tipo de investigación que se llevara a cabo en el presente proyecto de tesis.

1. *Investigación exploratoria*: Se realiza cuando el objetivo consiste en examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes.
 - Investigan problemas poco estudiados.
 - Indagan desde una perspectiva innovadora.
 - Ayudan a identificar conceptos promisorios.
 - Preparan el terreno para nuevos estudios.

2. *Investigación descriptiva*: Se emplea cuando el objetivo es el de detallar cómo son y cómo se manifiestan fenómenos, situaciones, contextos y eventos. Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice.
 - Consideran a un fenómeno y sus componentes.
 - Miden conceptos.
 - Definen variables.

De acuerdo con Sampieri (2006), la investigación que se lleva a cabo para el presente proyecto, será *exploratoria y descriptiva*. Se analizará la condición socioeconómica ante un sismo en el municipio de Acambay, Estado de México, así como las consecuencias que este proceso generaría, también se estudian las zonas de riesgo con la finalidad de identificar el tipo de vulnerabilidad que se encuentre, clasificándola en alta, media y baja.

v. Variables

Las variables representan una clase de resultados que pueden asumir más de un valor. Se considera variable “cualquier característica o cualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores” (Sabino, 1992).

Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación, se determina el estudio de las variables socioeconómicas, que permitirán evaluar las pérdidas ante un riesgo sísmico para la región de Acambay las cuales ayuden a identificar las zonas más vulnerables.

Las variables consideradas son un factor importante, ya que de ellas se determina la vulnerabilidad ante el riesgo sísmico, las cuales son: (Martínez & Nieto, 1990)

Variable dependiente	Variable independiente
Vulnerabilidad estructural y física	- Tipo de vivienda
	- Características de la vivienda
	- Déficit de vivienda
	- Tratamiento y abastecimiento de agua
Riesgo	- Vulnerabilidad
	- Capacidad de reacción
Factor humano y socioeconómico	- Población
	- PEA
	- Marginación
	- Densidad de población
	- Población de habla indígena
	- Servicios de salud

Tabla 1. Variables dependientes e independientes. Fuente: Elaboración propia

Para el estudio de vulnerabilidad socioeconómica se parte de la base de datos del censo de población y vivienda 2010, que incluye tanto la cantidad de construcciones, número de habitantes, PEA, características de la vivienda, marginación, servicios de salud, y vulnerabilidad. Estas variables son necesarias para obtener la densidad de población, habitantes por vivienda, entre otros, de los cuales se podrá estimar los daños de la población junto con las pérdidas económicas para así determinar el tipo de vulnerabilidad del lugar.

Una vez obtenida la vulnerabilidad se procederá a realizar un escenario de riesgo sísmico obteniendo valores próximos a la realidad.

vi. Hipótesis

Las características de orden social y económico que prevalecen en la cabecera municipal de Acambay se consideran como ejes detonantes que en el caso de ocurrir un sismo con una magnitud igual o superior al que ocurrió en 1912, incrementan la exposición al geosistema perturbador y por ende, amplía la tendencia de creación de un escenario de desastre.

vii. Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad socioeconómica de la población por riesgo sísmico en la región de Acambay, Estado de México, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Objetivos específicos

- Diagnosticar la vulnerabilidad socioeconómica de la población por medio del censo de población y vivienda 2010.
- Establecer los niveles de vulnerabilidad por medio de indicadores para determinar la vulnerabilidad socioeconómica de la población.
- Propuesta de escenario de amenaza sísmica para la zona de estudio.

viii. Antecedentes

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicas más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el *Cinturón Circumpacífico* donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta. La sismicidad del país es originada por la interacción entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe, así como a fallas locales que corren a lo largo de varios estados aunque estas últimas menos peligrosas. La Placa Norteamericana se separa de la del Pacífico pero roza con la del Caribe y choca contra las de Rivera y Cocos, de aquí la incidencia de sismos (SGM, 2014).

Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana debido a la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica y del Caribe sobre la costa del Pacífico frente a estos estados, también por esta misma acción son afectados los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y el Distrito Federal (SGM, 2014).

Aunque las zonas epicentrales se localizan en diversos puntos del Pacífico, la Ciudad de México, aunque no se encuentre sobre la costa, se ha convertido en el receptor sísmico de todos ellos debido a que se encuentra cercana para experimentar sus efectos y la causa de que estos sean más dañinos en esta zona que en otros lugares, radica entre otras cosas en la naturaleza de su terreno ya que fue fincada en lo que fuera un lago.

El estudio de la actividad sísmica de México comenzó a principios del siglo, sin embargo, los antecedentes históricos de grandes sismos del país fueron registrados en un gran número de documentos. En 1910 se inauguró la red sismológica mexicana y desde esa fecha hasta nuestros días se ha mantenido una observación continua de los temblores cuyos registros se conservan en la Estación Sismológica de Tacubaya y otras instalaciones del Instituto de Geofísica de la UNAM, encargada de operar el Servicio Sismológico Nacional - SSN- y la red de 35 estaciones sismológicas. El servicio sismológico nacional (El SSN) reporta en el país, en promedio, la ocurrencia de 4 sismos por día de magnitud $M > 3.0$.

Existe otro grupo de trabajo en el Centro de Investigaciones y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE), que enfoca su estudio entre otros aspectos, a la actividad sísmica asociada tanto al Golfo de California como a la falla de San Andrés, al igual que la Red Sismológica del Noroeste (RESNOR). Algunas instituciones de enseñanza superior en el interior del país, hacen estudios de sismicidad regional. Los diferentes grupos mantienen comunicación para dar a conocer sus avances (SGM, 2014).

En 1990 Juventino Martínez Reyes elaboró un estudio de “Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México”, donde utiliza el método analítico del cual obtiene como resultado que la región tectónica activa pertenece a la parte central del país, cuyos efectos representan riesgos naturales para esta parte del país, que por su densidad

demográfica alta, resulta ser de vulnerabilidad alta. En 2007 Zúñiga hace una investigación de algunas apreciaciones sobre la cuantificación de la sismicidad en el Noroeste de México para fines de evaluaciones de riesgo, donde explica que se avanza en la caracterización de las regiones sismogénicas por medio de diversos estudios. Nueva información relacionada con las zonas de escasa ocurrencia pero de peligro potencial, basada en monitoreos locales y estudios de paleosismología y geología de terremotos, de la cual se incorpora a la base de datos conforme se adquiere.

En cuestiones internacionales Brendon A. Bradley (2013), realiza un estudio de “*Site specific and spatially distributed ground-motion intensity estimation in the 2010–2011 Canterbury earthquakes*”, el cual utiliza el método para estimar el espectro de respuesta de sitio específico donde los mayores de siete eventos sísmicos en la secuencia de terremoto de Canterbury, se elaboraron mapas de la mediana y desviación estándar de la distribución condicional de la aceleración máxima del terreno. Los resultados contenidos en estos mapas se han utilizado para examinar la liberación del potencial de licuación de suelos superficiales de las zonas residenciales de vivienda como parte de las evaluaciones de seguro de daños de la Tierra.

En 2014 Tielin Liu, Wei Zhong, realizan un estudio de “*Earthquake responses of near-fault frame structure clusters due to thrust fault by using flexural wave method and viscoelastic model of earth medium*”, del cual utilizan el método de onda de flexión donde los patrones de deformación de la estructura en el grupo estructural se proporcionan durante el terremoto cerca de fallos al utilizar el método integrado.

La órbita de la estructura de la agrupación, que se encuentra entre el epicentro y la ruptura hacia adelante, está en movimiento hacia la izquierda en el terremoto inducido por la falla de cabalgamiento.

Odranoel Quintero-Legorreta (2002), realiza un estudio del “Análisis estructural de fallas potenciales activas”, por medio del método cualitativo y cuantitativo, donde demuestra que los estudios de neotectónica permiten un análisis preciso de las deformaciones y de su cronología análisis mucho más finos que aquellos que se obtienen para las deformaciones orogénicas más antiguas, mientras que en Valdés (2008), realiza una metodología para la

estimación del peligro sísmico con base en la teoría de vibraciones aleatorias, el cual muestra Los resultados obtenidos son similares a los de otros estudios de distinto tipo que se han realizado, lo cual genera certidumbre en la posible aplicación con fines de diseño estructural de toda esta colección de resultados que han sido generados a partir de la escasa información instrumental de que se dispone actualmente en esta ciudad.

En 2010, en la publicación de “Caracterización de las regiones tectónicas del estado de México a través de la aplicación de geotecnologías”, catedráticos de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), (Madrigal *et al.*, 2010) realizan una caracterización de las regiones tectónicas del estado de México a través de la aplicación de geotecnologías, al utilizar el método cartográfico y el método de modelos iluminados, concluyendo que las fallas más antiguas están asociadas a los grandes cizallamientos de orientación SW-NE y algunos de orientación SE-NW, que según muchos autores se encuentran relacionadas a los movimientos de la corteza profunda durante el Cretácico Superior, pero que siguen activas según los estudios recientes, de modo que a dos de ellas se les asocia con el sismo de 1985 en la ciudad de México. En 2012 Eliseo Lugo Plata, elabora un compendio nombrado “Acambay 100 años después, 1912-2012”, identificando así los daños y cronología de los diferentes sismos desde 1912 -2012.

Espinosa y Hernández (2014), en su estudio de “Movimientos verticales recientes en la zona sismogeneradora de Acambay, mediante métodos geodésicos” presentan que la región central mexicana está conformada por un complejo de sistemas de fallas, fosas tectónicas y manifestaciones volcánicas donde la región de Acambay es parte de ella y la cual ha mostrado evidencia de actividad sismogeneradora desde hace un siglo, así como algunos autores mencionados en este estudio (Suter *et al.*, 2001) sostienen que el borde norte del graben presenta mayor actividad sismotectónica lo que atestigua la posibilidad de sismos con magnitud mayor a 7 grados Richter.

1. Marco legal, normativo e institucional

Un avance significativo en cuanto a la prevención y atención de eventos sísmicos en el país es el llamado Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). Esté nació en el

año 2000 con la promulgación de la Ley General de Protección Civil, la cual fue antecedida por una reforma constitucional en 1997 que facultaba al Congreso de la Unión a legislar sobre la materia. La organización del Sistema Nacional de Protección Civil abarca los tres niveles de gobierno, y el involucramiento de la población en el sistema de protección civil es promovido por las instancias municipales (CEPAL y BID, 2007).

La organización para la atención de la emergencia está claramente establecida. Dentro de esta organización se encuentran la Secretaría de Salud, el cuerpo de brigadistas y grupos voluntarios, la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y el Ejército Mexicano, la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR), además de otras instituciones no gubernamentales como la Cruz Roja Mexicana. Entre las medidas emprendidas por el Gobierno para financiar los efectos de los desastres, quizás la más importante ha sido la creación del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN). Este fondo, que cuenta con varios instrumentos, permite contar con recursos para atender las necesidades de la población afectada después de un evento desastroso y apoyar la reconstrucción de las viviendas dañadas o destruidas. A su vez, este fondo se complementa con otras medidas como la creación del Programa de Empleo Temporal (PET) y el Fondo Para la Prevención de Desastres (FOPREDEN) y el Fideicomiso para la Prevención de Desastres (FIPREDEN) (CEPAL y BID, 2007). Con estos instrumentos y recursos, que son apropiados de los presupuestos anuales con el fin de prevenir y atender desastres naturales, el Estado Mexicano ha minimizado la desviación de recursos de otras áreas del presupuesto cuando ocurren imprevistos naturales, logrando con esto que el gobierno no sufra recortes en áreas importantes para su operación.

1.1. Marco legal

Ley General de Protección Civil

El **artículo 1** hace mención que la presente ley es de orden público e interés social y tiene por objeto establecer las bases de coordinación entre los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil. Los sectores privado y social participarán en la consecución de los objetivos de esta Ley, en los términos y condiciones que la misma establece; en los **Artículos del 4 al 30** hace mención de las responsabilidades y obligaciones que den cumplir

cada uno de los órdenes de gobierno así como dar a conocer en un comunicado a la población al presentarse un fenómeno perturbador para tomar las medidas de mitigación necesarias; Es necesario contar con un fondo de recursos ante cualquier desastre como lo estipula esta ley en los artículos **66 al 72** donde las personas encargadas serán primordiales para dar y recibir los apoyos de la gente para la gente.

Para tener un conocimiento específico de los fenómenos perturbadores en la región es importante contar con los atlas de riesgo, ya que son un instrumento que permitirán movilizar, reforzar, prevenir y mitigar dichos fenómenos por lo tanto el de carácter obligatorio que cada estado, municipio cuente con su propio atlas de riesgo como lo estipula la Ley General de Protección Civil en sus artículos del **82 al 90**.

REGLAMENTO de la Ley General de Protección Civil

En el Reglamento de la Ley General de Protección Civil, cuenta con los lineamientos que se deben de seguir para que la Ley General de Protección Civil sea aplicable; en el **Artículo 1** menciona que el presente ordenamiento es de orden público e interés social, y de observancia obligatoria para las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, que en el ámbito de sus atribuciones, participen en coordinación con los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil, así como para los sectores social y privado, en la consecución de los objetivos de la Ley; en los artículos del 4 al 13 y 51 al 58 se especifica las responsabilidades y obligaciones de cada uno de los órdenes de gobierno como para los sectores tanto públicos como de gobierno para trabajar conjuntamente para mitigar y dar solución a los problemas ocasionados por fenómenos perturbadores.

La Coordinación Nacional promoverá entre las Autoridades Locales que, durante la atención a una Emergencia, se otorgue prioridad a los grupos sociales vulnerables y de escasos recursos económicos, de igual forma se les otorgaran apoyos para mitigar la problemática existente, mencionados en el artículo 31.

En el **Artículo 51**. Se menciona que El Centro Nacional de Comunicación y Operación de Protección Civil se podrá coordinar con los Sistemas Estatales y Municipales de Protección Civil para la operación de la comunicación, alertamiento, información, apoyo

permanente y enlace entre los integrantes del Sistema Nacional en las tareas de Preparación, Auxilio y Recuperación, así como en la integración de los instrumentos necesarios que permitan la oportuna y adecuada toma de decisiones. Toda la información para crear lo antes mencionado y generar una adecuada coordinación esta especificada en los **Artículos 62, 64, 70**, de igual forma es importante la elaboración de los programas especiales de Protección Civil establecidos en el **Artículo 71, 72 y 74**.

Las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal promoverán el acceso a la información actualizada sobre los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos de origen natural y antropogénicos, a través de los medios de difusión que estén a su alcance así como los instrumentos financieros de gestión de riesgos de orden preventivo que fomentarán la actividad preventiva se establecen en los **Artículos 93, 94, 104 y 105**.

El análisis de Riesgos es un método ordenado y sistemático para identificar y evaluar los daños que pudieran resultar de los Riesgos y Peligros naturales y antropogénicos, así como las Vulnerabilidades de construcciones, edificaciones, infraestructura o asentamientos humanos, dentro del predio en estudio, en el entorno próximo y en su cuenca, en donde es necesario contar con el Atlas de Riesgos para mitigar estos fenómenos perturbadores que afectan a la población, establecidos en los **Artículos 110 y 112**.

Ley de Protección Civil del Estado Libre y Soberano de México

Con respecto a esta ley es similar a la ley ya antes mencionada donde mencionan las características que debe cumplir los estados y los municipios cuanto a protección civil, como establece en el **Artículo 1.-** La presente Ley es de orden público e interés social. Sus disposiciones son de observancia general y obligatoria en el territorio del Estado de México y tiene por objeto establecer las bases de coordinación de las actividades y programas en materia de protección civil.

El Sistema Estatal de Protección Civil, como parte integrante del Sistema Nacional, es el mecanismo de enlace entre la Administración Pública del Estado de México y de los Ayuntamientos de la entidad. Su objeto es la conjunción de esfuerzos, instancias, instrumentos, políticas públicas, servicios y acciones institucionales destinadas a la

prevención, detección, mitigación, protección, cooperación, coordinación, comunicación, restauración y atención de las situaciones generadas por el impacto de siniestros o fenómenos destructivos en la población, sus bienes y entorno en su ámbito territorial establecidos en los **Artículos 7, 8, 11, 16, 18, 19 y 22**.

Los instrumentos de las políticas de protección civil del Estado están incluidas en los artículos 35, 37, 40, así como la difusión de toda la información existente ante los fenómenos perturbadores en el Estado, establecida en el **Artículo 48**.

Referente al Atlas Estatal de Riesgos y las características que este debe contener se encuentra en el **Artículo 49**; de igual forma el Estado debe de contener su Fondo para la prevención y atención de desastres como lo establece La Ley General de Protección Civil establecida en el **Artículo 73**.

Ley de Asentamientos Humanos

Esta ley es tomada en cuenta ya que la mayoría de la población se asienta en lugares irregulares y de riesgo por lo tanto es necesario hacer mención de los artículos que la población debe de acatar antes de establecerse en un lugar, estos **Artículos** son **3, 6, 9, 11, 15, 30 y 49**. Donde la planeación y regulación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y del desarrollo urbano de los centros de población forman parte del Sistema Nacional de Planeación Democrática, como una política sectorial que coadyuva al logro de los objetivos de los planes nacionales, estatales y municipales de desarrollo.

1.2. Normatividad

NTC-RCDF. Los requisitos de estas Normas Técnicas Complementarias tienen como propósito obtener una seguridad adecuada tal que, bajo el sismo máximo probable, no habrá fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.

1.3. Institucional

Uno de los requisitos básicos que debe cumplir una construcción es que tenga una seguridad adecuada contra posibles fallas estructurales. En muchas regiones, el aspecto más

crítico a cuidar en ese sentido es la seguridad sísmica. Para lograr la seguridad estructural adecuada de una edificación deben cuidarse otros aspectos además de los propiamente relativos al diseño estructural. Los reglamentos de construcciones deben incluir, por tanto, disposiciones relativas a las características del proyecto arquitectónico que inciden en la seguridad, otras que conciernen a la organización del proceso de diseño y ejecución de las obras, otras que definen quienes deben ser responsables de los aspectos de seguridad estructural que aparecen en las distintas etapas, así como disposiciones relativas a la verificación de calidad de materiales y a la ejecución y a la documentación del proceso. Como ejemplo, para este se presentarán las disposiciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Artículo 172. Este título contiene los requisitos que deben cumplirse en el proyecto, ejecución y mantenimiento de una edificación para lograr un nivel de seguridad adecuado contra fallas estructurales, así como un comportamiento estructural aceptable en condiciones normales de operación.

La documentación requerida del proyecto estructural deberá cumplir con lo previsto en el artículo 56 de este Reglamento. En el libro de bitácora deberá anotarse, en lo relativo a los aspectos de seguridad estructural, la descripción de los procedimientos de edificación utilizados, las fechas de las distintas operaciones, la interpretación y la forma en que se han resuelto detalles estructurales no contemplados en el proyecto estructural, así como cualquier modificación o adecuación que resulte necesaria al contenido de los mismos. Toda modificación, adición o interpretación de los planos estructurales deberá ser aprobada por el Director Responsable de Obra o por el Corresponsable en Seguridad Estructural, en su caso. Deberán elaborarse planos que incluyan las modificaciones significativas del proyecto estructural que se hayan aprobado y realizado.

Artículo 174. Para los efectos de este Título las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:

I. Grupo A. Edificaciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como

edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas; museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, a juicio del Departamento; y

Grupo B. Edificaciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A, las que se subdividen en:

a) Subgrupo B1. Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m² de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se alude en el artículo 175, y construcciones de más de 15 m de altura o 3,000 m² de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un sólo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo, (acceso y escaleras), incluyen las áreas de anexos, como pueden ser los propios cuerpos de escaleras. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquél otro a través del cual se desaloje. Además templos, salas de espectáculos y edificios que tengan salas de reunión que puedan alojar más de 200 personas, y

b) Subgrupo 82. Las demás de este grupo.

Artículo 176. El proyecto arquitectónico de una edificación deberá permitir una estructuración eficiente para resistir las acciones que puedan afectar la estructura, con especial atención a los efectos sísmicos.

El proyecto arquitectónico de preferencia una estructuración regular que cumpla con los requisitos que se establezcan en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño Sísmico.

Las Edificaciones que no cumplan con dichos requisitos de regularidad se diseñarán para condiciones sísmicas más severas, en la forma que se especifique en las Normas mencionadas.

Artículo 177. Toda edificación deberá separarse de sus linderos con predios vecinos a una distancia cuando menos igual a la que se señala en el artículo 211 de este Reglamento, el que regirá también las separaciones que deben dejarse en juntas de edificación entre cuerpos distintos de una misma edificación.

Artículo 178. Los acabados y recubrimientos cuyo desprendimiento pueda ocasionar daños a los ocupantes de la edificación o a los que transiten en su exterior, deberán fijarse mediante procedimientos aprobados por el Director Responsable de Obra y por el Corresponsable en Seguridad Estructural, en su caso. Particular atención deberá darse a los recubrimientos pétreos en fachadas y escaleras a las fachadas prefabricadas de concreto, así como a los plafones de elementos prefabricados de yeso y otros materiales pesados, en el **artículo 181** se establecen las bases de una construcción regular.

Artículo 179. Los elementos no estructurales que puedan restringir las deformaciones de la estructura, o que tengan un peso considerable, muros divisorios, de colindancia y de fachada, pretilas y otros elementos rígidos en fachadas, escaleras y equipos pesados, tanques, tinacos y casetas, deberán ser aprobados en sus características y en su forma de fijación por el Director Responsable de Obra y por el Corresponsable en Seguridad Estructural en obras en que éste sea requerido. El mobiliario, los equipos y otros elementos cuyo volteo o desprendimiento pueda ocasionar daños físicos o materiales, como libreros altos, anaqueles y tableros eléctricos o telefónicos, deben dejarse de tal manera que se eviten estos daños.

Dado el carácter federal de la República, los estados son autónomos y soberanos, y por lo tanto los reglamentos de construcciones deben ser elaborados por la correspondiente autoridad municipal o estatal. La falta de un reglamento nacional dificulta la homogenización de la calidad de las construcciones en el territorio. Mientras que algunas ciudades importantes como el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, Cuernavaca y Puebla cuentan con un reglamento actualizado en esta materia, existen ciudades intermedias como Toluca y Morelia que no cuentan siquiera con un reglamento municipal. Esta problemática se extiende a la mayoría de municipios intermedios y pequeños del país, y es claro que se necesitan implementar reglamentos de construcciones antisismos antes de que ocurra un terremoto, debido a que probablemente serían los sitios más afectados por no tener dichos estándares de

construcción. Parece evidente que, debido entre otras a las características del suelo que se presenta en la capital, emplear el reglamento del Distrito Federal para el resto del país no es necesariamente una buena práctica (Cantillo, 2010).

2. Marco teórico

Los terremotos varían desde una suave vibración hasta violentos movimientos, muchos de estos han pasado a la historia como las peores catástrofes naturales alguna vez vividas por la humanidad como lo es Lisboa en 1755, Valdivia en 1960, México en 1985 y Cachemira en 2005, los cuales son solo algunos ejemplos de la devastación física, material y emocional en la que puede quedar una población (Británica y Ciencia, 2012).

Los movimientos tectónicos recientes de la corteza, son un clásico modelo de estudios interdisciplinarios en geociencias, ya que de su estudio se ocupan; la geología, hidrología, geomorfología, oceanografía, geotecnia, geofísica, geoquímica, geomecánica (Díaz y Hernández, 1990).

Para comprender las características de los sismos y los daños que estos provocan, se hace mención de conceptos que se definen en este capítulo los cuales han sido retomados de bibliografía que se cuenta en México y en el mundo.

La estructura del presente capítulo se conforma por tres apartados básicos, los cuales son:

- a. Vulnerabilidad
- b. Riesgo sísmico
- c. Sismicidad

2.1. La vulnerabilidad como parte del riesgo

En este contexto, la vulnerabilidad puede definirse como la capacidad disminuida de una persona o un grupo de personas para anticiparse, hacer frente y resistir a los efectos de un peligro natural o causado por la actividad humana, y para recuperarse de los mismos. Es un concepto relativo y dinámico. La vulnerabilidad casi siempre se asocia con la pobreza,

pero también son vulnerables las personas que viven en aislamiento, inseguridad e indefensión ante riesgos, traumas o presiones (Roja, 2012).

La exposición de las personas a riesgos varía en función de su grupo social, sexo, origen étnico u otra identidad, edad y otros factores. Por otra parte, la vulnerabilidad puede adoptar diferentes formas: la pobreza, p. ej., puede resultar en que las viviendas no puedan resistir a un terremoto o huracán, y la falta de preparación puede dar lugar a una respuesta más lenta al desastre, y con ello a más muertes o a un sufrimiento más prolongado.

La otra cara de la moneda es la capacidad, que puede describirse como los recursos de que disponen las personas, familias y comunidades para hacer frente a una amenaza o resistir a los efectos de un peligro. Estos recursos pueden ser físicos o materiales, pero también pueden encontrarse en la forma en que está organizada una comunidad o en las aptitudes o atributos de las personas y/o las organizaciones de la misma. (Roja, 2012).

Para determinar la vulnerabilidad de las personas es necesario plantearse dos preguntas:

- ¿a qué amenaza o peligro son vulnerables las personas?
- ¿qué les hace vulnerables a la amenaza o el peligro?

Para contrarrestar la vulnerabilidad es necesario (Roja, 2012):

- reducir en la medida de lo posible los efectos del propio peligro (mediante mitigación, predicción y alerta, y preparación);
- fortalecer la capacidad para resistir y hacer frente a los peligros;
- abordar las causas subyacentes a la vulnerabilidad, como la pobreza, el mal gobierno, la discriminación, la desigualdad y el acceso insuficiente a recursos y medios de subsistencia.

La vulnerabilidad puede ser aplicada en diversos campos con distintas acepciones, a continuación se enlistan los diferentes tipos de vulnerabilidad:

2.1.1. Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social no se refiere sólo a la situación de pobreza como carencia de recursos materiales, sino también a la falta de capacidad y de organización necesaria para mejorar la calidad de vida y acceder a diferentes bienes y servicios. El individuo se integra a la sociedad a través de un doble eje: el trabajo y su mundo de relaciones, familiares y comunitarias. La situación de vulnerabilidad social se vincula con la precaria situación laboral, con la fragilidad institucional (a nivel de organismos intermedios y de acciones protectoras del Estado) y con el debilitamiento o ruptura de la red de relaciones familiares, comunitarias y sociales (Pizarro, 2001).

El concepto de vulnerabilidad social tiene dos componentes explicativos. Por una parte, la inseguridad e indefensión que experimentan las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida a consecuencia del impacto provocado por algún tipo de evento económico social de carácter traumático. Por otra parte, el manejo de recursos y las estrategias que utilizan las comunidades, familias y personas para enfrentar los efectos de ese evento. (Pizarro, 2001).

El Banco Interamericano de Desarrollo y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe: “La reducción de la vulnerabilidad es una inversión clave, no solamente para reducir los costos humanos y materiales de los desastres naturales, sino también para alcanzar un desarrollo sostenible” (CEPAL, 2000).

La vulnerabilidad es la disposición interna a ser afectado por una amenaza. Si no hay vulnerabilidad, no hay destrucción o pérdida. Se define como la propensión interna de un ecosistema o algunos de sus componentes a sufrir daño ante la presencia de determinada fuerza o energía potencialmente destructiva (Vargas, 2002).

De acuerdo con (Vargas, 2002), la vulnerabilidad depende de:

- Grado de exposición: tiempo y modo de contacto de un ecosistema (o sus componentes) a un peligro los efectos de una actividad o energía potencialmente peligrosa (cuanta energía potencialmente destructiva recibe y por cuanto tiempo).

- **Protección:** defensas del ecosistema que reducen o eliminan la afectación que le puede causar una actividad con potencial destructivo. Pueden ser permanentes, habituales, y estables u ocasionales, pero en todo caso activas en el momento de exposición la fuerza desestabilizadora.
- **Reacción inmediata:** capacidad del ecosistema para reaccionar, protegerse y evitar el daño en el momento en que se desencadena la energía con potencial destructivo o desestabilizador.
- **Recuperación básica:** restablecimiento de las condiciones esenciales de subsistencia de todos los componentes de un ecosistema, donde se evite su muerte o deterioro con posterioridad al evento destructivo. También se le llama rehabilitación.
- **Reconstrucción:** recuperación del equilibrio y las condiciones normales de vida de un ecosistema, por sus retorno a la condición previa o, más frecuente, a una nueva condición más evolucionada y menos vulnerable.

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total. (Barbat y Pujades, 2004). Además de las variables antes mencionadas de la cual depende la vulnerabilidad también existen factores que permiten definirla y a su vez hacer una mayor evaluación de acuerdo con (Wilches, 1989) estos son los factores:

- **Físico o localizacional.** se refiere a la localización de grandes contingentes de la población en zonas de riesgo físico.
- **Economía:** existe una relación inversa entre ingreso per cápita a nivel nacional, regional, local o poblacional y el impacto de los fenómenos físicos extremos. O sea, la pobreza aumenta el riesgo de desastre

- Social: referida al bajo grado de organización y cohesión interna de comunidades bajo riesgo, que impiden su capacidad de prevenir, mitigar o responder a situaciones de desastre.
- Política: en el sentido del alto grado de centralización en la toma de decisiones y en la organización gubernamental, y la debilidad en los niveles de autonomía para decidir en los niveles regionales, locales y comunitarios, lo cual impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales.
- Técnica: referida a las técnicas inadecuadas de construcción de edificios e infraestructura básica utilizadas en zonas de riesgo.
- Ideología: referida a la forma en que los hombres conciben el mundo y el medio ambiente que habitan y con el cual interactúan.
- Cultural: expresada en la forma en que los individuos se ven a sí mismos en la sociedad y como conjunto nacional. Además, el papel que juegan los medios de comunicación en la consolidación de imágenes estereotipos o en la transmisión de información sobre el medio ambiente y los desastres (potenciales o reales).
- Educativa: en el sentido de la ausencia, en los programas de educación, de elementos que instruyan adecuadamente sobre el medio ambiente o en el entorno que habitan los pobladores, su equilibrio o desequilibrio. Además, se refiere al grado de preparación que recibe la población sobre formas de un comportamiento adecuado a nivel individual, familiar y comunitario en caso de amenaza u ocurrencia de situaciones de desastre.
- Institucional: reflejada en la obsolescencia y rigidez de las instituciones, en especial las jurídicas, donde la burocracia, la prevalencia de la decisión política, el dominio de criterios personalistas, impiden respuestas adecuadas y ágiles a la realidad existente.

- Económica: Existe una relación inversa entre ingreso per cápita a nivel nacional, regional, local o poblacional y el impacto de los fenómenos físicos extremos. O sea, la pobreza aumenta el riesgo de desastre.
- Social: Referida al bajo grado de organización y cohesión interna de comunidades bajo riesgo, que impiden su capacidad de prevenir, mitigar o responder a situaciones de desastre.

Estos factores definidos serán utilizados en la determinación de las vulnerabilidades que pueda presentar el área de estudio asociando diversas variables que permitan su identificación.

2.1.2. Vulnerabilidad estructural

Se refiere a que tan susceptibles, afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura. Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, entre otros (Vizconde, 2004).

La vulnerabilidad estructural se puede definir como el grado de susceptibilidad en que se ven afectados los elementos que conforma una estructura los cuales son el resultado de la calidad de la construcción y conservación del mismo. Para Peralta, (2002), toma 5 factores que le permite determinar la vulnerabilidad estructural, los cuales son:

- Calidad de la construcción: se refiere a la calidad de los materiales utilizados para la construcción, que garantizan una adecuada resistencia y capacidad de la edificación para absorber y disipar la energía sísmica. Materiales frágiles y poco resistentes, con discontinuidades, se rompen de manera fácil ante la acción de un terremoto.

- Estado de conservación de la construcción: se refiere a las condiciones de deterioro representadas en lesiones físicas (humedad, erosión, etc.), mecánicas (deformaciones, grietas, fisuras, desprendimientos, etc.) y químicas (eflorecencias, oxidaciones, corrosiones y organismos como plantas e insectos) y de acuerdo con el *Colegio Oficial de Arquitectos* (1991), pueden ocasionar la pérdida de las propiedades mecánicas y por ende, la disminución de la resistencia de los elementos constructivos.
- Configuración y forma de la edificación: de acuerdo con Cardona (1989), uno de los aspectos de mayor incidencia en el comportamiento de las edificaciones frente a la amenaza sísmica, es su configuración en planta y en altura. Si una edificación posee una forma regular, simétrica y simple, horizontal y verticalmente, con plantas cuadradas o rectangulares no muy alargadas, su comportamiento será mejor que si su configuración es asimétrica, irregular y complicada, como por ejemplo, plantas en forma de "l", "t", "h", entre otras. En general, la asimetría y la falta de regularidad de la edificación puede causar torsiones que a su vez producen concentraciones de esfuerzos en la estructura, generando fallas o rompimientos locales que pueden llegar a comprometer la estabilidad global de la construcción (Cardona, 1989).
- Tipo de estructura: en general pueden considerarse tres tipos estructurales (Cardona, 1989) los conformados por entramados o pórticos de concreto reforzado, acero estructural o madera. También por muros o paredes portantes, normalmente de bloque, ladrillos o paneles y por la combinación de los anteriores, es decir, estructuras compuestas. Se puede decir que los entramados o pórticos de concreto reforzado con vigas y columnas de apreciables dimensiones, unidas monolíticamente, tienen un buen comportamiento sísmico, lo mismo que los entramados metálicos o de madera que ofrezcan buenos amarres o anclajes en las diferentes uniones de sus elementos.
- Características del suelo y la cimentación: A pesar que una estructura ofrezca una apariencia de rigidez y resistencia aceptable, puede ocurrir que la misma no pueda soportar en forma adecuada un movimiento sísmico debido a la inestabilidad del suelo sobre el cual fue cimentada. Las vibraciones pueden ocasionar la pérdida de la

capacidad de soporte del suelo y, por lo tanto, la estabilidad de la edificación (Cardona, 1989).

2.1.3. Vulnerabilidad no estructural

Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Se sabe que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, entre otros, mientras que la estructura permanece en pie (Cardona y Omar, 1999).

2.2. Riesgo Sísmico

El Riesgo se entiende como el resultado de la interacción del peligro sobre la vulnerabilidad. Éste se puede expresar tanto en forma cualitativa (grados o niveles la calificación), como también en forma cuantitativa, estimando los daños o pérdidas esperadas para un determinado evento específico o escenario de riesgo (por ejemplo: un terremoto de magnitud Richter grado 8 o superior, a una hora determinada).

El impacto de los sismos en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado algunos componentes en formas diferentes. La Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos Humanitarios (ONU/DHU) en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años. Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión “Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad” (Vizconde, 2004), incluyó lo siguiente:

Amenaza o riesgo (“*Hazard*” – H): Es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencial y destructivo durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

Vulnerabilidad (“*Vulnerability*” – V): Grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).

Riesgo Específico (“*Specific Risk*” – R): Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.

Elementos bajo riesgo (“*Elements at Risk*” - E): Son la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

Riesgo Total (“*Total Risk*” – Rts): Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un evento desastroso, es decir, el producto del Riesgo Específico R y los elementos bajo riesgo E. Puede resumirse lo dicho anteriormente en:

$$R_t = E \cdot R = E \cdot (H \cdot V)$$

Se considera la Exposición E implícita en la vulnerabilidad V, sin que esto modifique la concepción original, podría plantearse: Una vez conocida la amenaza o peligro A_i , entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a i durante un periodo de tiempo t , y s conocida la vulnerabilidad V_e , entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con una intensidad i , el riesgo R_{ie} puede entenderse como la probabilidad de que s se presente una pérdida sobre el elemento e , como consecuencia de la ocurrencia de un evento con una intensidad mayor o igual a i ,

$$R_{ie} = (A_i, V_e)$$

2.2.1. Amenaza sísmica

La amenaza es el fenómeno peligroso. Se define como la magnitud y duración de una fuerza o energía potencialmente peligrosa por su capacidad de destruir o desestabilizar un ecosistema o los elementos que los componen, y la probabilidad de que esa energía se desencadene. (Vargas, 2002).

Tiene tres componentes:

- Energía Potencial: magnitud de la actividad o cadena de actividades que podrían desencadenarse.
- Susceptibilidad: predisposición de un sistema para generar o liberar la energía potencialmente peligrosa, ante la presencia de detonadores.
- Detonador o Desencadenante: evento externo con capacidad para liberar la Energía Potencial

La amenaza en un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (UNISDR, 2009).

La peligrosidad sísmica cuantifica de qué tamaño pueden ser los efectos de los terremotos en un lugar determinado y con qué frecuencia se espera que puedan ocurrir. En países como latinoamericanos se utilizan también los términos peligro sísmico o amenaza sísmica para designar la peligrosidad sísmica (UNISDR, 2009).

La probabilidad de daños y pérdidas en los elementos expuestos a la acción de un terremoto (población, edificios, infraestructuras, economías, entre otros) como consecuencia de la ocurrencia del mismo y de sus efectos, y de las medidas previas de mitigación y prevención existentes define el riesgo sísmico, en cuya estimación intervienen dos componentes básicos: la peligrosidad y la vulnerabilidad sísmica (Ugalde, 2009).

2.2.2. Amenazas colaterales

Los fenómenos perturbadores incluyen como consecuencia de las vibraciones producidas por el sismo; algunas de ellas la ruptura superficial de fallas geológicas, deslizamientos y licuación de suelos, incendios, derramamiento o escape de sustancias peligrosas, e inundaciones por rupturas en tanques, represas y diques (Campos, 1992).

2.2.3. Determinación de los efectos locales

Las amplitudes y formas de las ondas sísmicas generadas en un sismo dependen del mecanismo focal y de la cantidad de energía liberada en la zona de ruptura. El mecanismo focal controla la manera en que las ondas son irradiadas en el espacio y en el tiempo. No obstante, las ondas sísmicas una vez emitidas por la fuente sufren modificaciones en su trayecto que dependen de las propiedades mecánicas de los medios en que se propagan (estratos de suelo) y de las dimensiones de las irregularidades con que se encuentren (Sánchez, 1989).

Si los cambios de las propiedades en una interface son grandes, o si el tamaño de las irregularidades es comparable o mayor que la longitud de onda predominante de las ondas incidentes, se generaran cambios significativos en el movimiento debidos a reflexión, refracción y difracción de las ondas (Peralta, 2002).

Las ondas sísmicas se amplifican o se atenúan de acuerdo al medio por el cual se propagan y el tipo de irregularidades que encuentren en su trayecto desde la fuente hasta la superficie. Generalmente los estratos de suelos blandos amplifican las ondas sísmicas, a diferencian de los estratos de suelo duros o densos. En las últimas décadas se ha observado la influencia negativa de la topografía en el comportamiento y resistencia sísmica de las construcciones (Peralta, 2002).

2.2.4. Efectos del suelo

Se ha observado que la distribución de los daños por sismos en áreas urbanas, presenta fuertes variaciones en función del tipo de suelo. Los daños se acentúan en aquellas zonas con sedimentos poco consolidados, normalmente con grandes espesores en cuencas aluviales o depósitos de barra (CENAPRED, 2001).

Como ejemplos más notables de este proceso sísmico pueden citarse los daños ocurridos en la Ciudad de México en 1985, Leninakan, Rusia en 1988 y Loma Prieta, California en 1989, entre otros (CENAPRED, 2001).

2.2.5. Capacidad destructiva de los sismos

Con frecuencia países latinoamericanos como Chile, Perú, Ecuador, Colombia y México han sido afectados por sismos de considerable magnitud lo cual da a conocer que cada sismo ocasionó trágicas consecuencias con las pérdidas de vidas humanas a más de las cuantiosas pérdidas económicas (Rodríguez y Aristizábal, 1998).

Se han propuesto varios parámetros para evaluar la capacidad destructiva de los sismos, sin embargo, muchos de ellos no son congruentes con los daños observados. Algunos de estos parámetros fueron desarrollados para comparar la severidad de los diferentes movimientos, sin considerar los tipos de estructuración existentes en las regiones o países con problemas sísmicos (Rodríguez y Aristizábal, 1998).

2.3. Sismicidad

La sismicidad que originalmente ha sido considerada como la distribución espacio – tiempo de los sismos en la Tierra y de sus efectos destructivos, obtenidos a partir de la recopilación histórica de los datos, ha dado origen a los catálogos sísmicos.

El riesgo sísmico en una zona no puede medirse fríamente a partir de la actividad sísmica reciente. En 1990 la Agencia Meteorológica del Japón (JMA), incluyó Kobe como una de las 18 regiones de Japón de baja sismicidad debido a que en los últimos 30 años no se produjeron terremotos fuertes en dicha zona. Después del terremoto ocurrido en Kobe, Japón en 1995, un estudio considera dicha zona como una de las más peligrosas, originado por esa falta de energía liberada. Este es un argumento para afirmar que las zonas de mayor riesgo, es decir, de mayores pérdidas, son las de aparentemente de moderada sismicidad, donde el período que transcurre entre los terremotos fuertes es largo (Bozzo y Barbat, 2004).

2.3.1. Fallas geológicas

Las fallas son consecuencia de ruptura de las rocas a lo largo del tiempo de la cual ha existido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto a otro. Una falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos han surgido desplazamientos, (CENAPRED, 2011).

En algunos lugares puede verse un tipo de roca apoyada contra otro tipo diferente a lo largo de una línea de contacto. En otros sitios han tenido lugar claros desplazamientos de estratos de la misma roca, ya sea horizontal o vertical (Bolt, 2003).

Los principales tipos de fallas son: 1) normal o fallas de tensión, 2) fallas de desgarre o dislocación, 3) fallas de empuje (Figura 3), se diferencian en la distancia de la orientación de los tres esfuerzos principales en relación con la superficie de la Tierra (Anderson, 1951). En la siguiente figura se observa los diferentes tipos de falla.

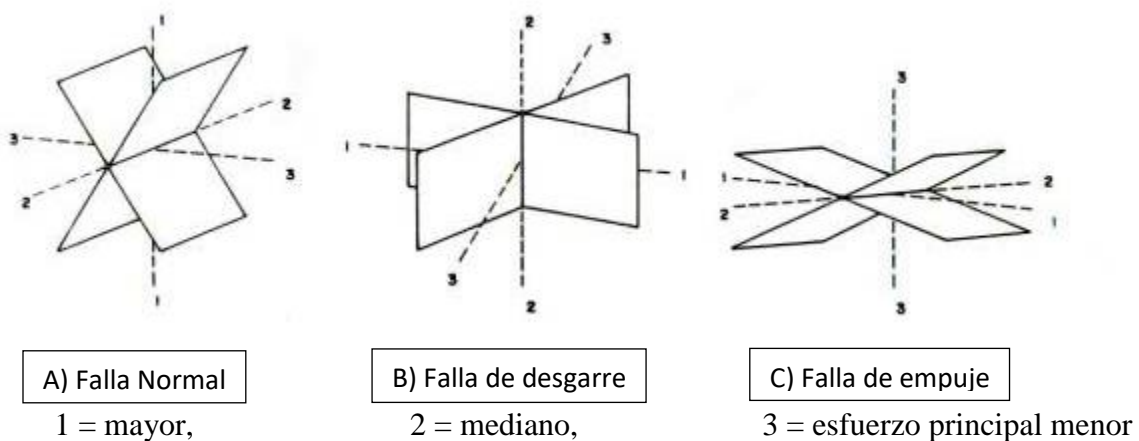


Figura 2. Tipos de fallas de acuerdo con los ejes de esfuerzo regional. Fuente: (Sitter, 1976)

Los tres planos cuyo ángulo agudo está cortado por el esfuerzo principal mayor y son paralelos al esfuerzo principal medio. Cuando éste está en el plano horizontal, se observan los planos de empuje, si el esfuerzo mayor está también en el mismo plano (C), o fallas normales, si dicho esfuerzo es vertical (A), cuando el esfuerzo medio es vertical obtenemos fallas de desgarre (B). Generalmente el campo de fuerzas en la parte superior de la corteza no es más que una presión o tensión tangencial. Un esfuerzo de tensión en dirección horizontal representa el esfuerzo principal menor y el resultado es una falla normal. En el caso de una presión tangencial horizontal podemos descubrir fallas de desgarre, que resultan de una extensión en sentido vertical (Sitter, 1976).

2.3.2. Sismos

Un sismo es un movimiento brusco producido en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía acumulada en el interior de la Tierra a causa de un reajuste de ésta. Dicha liberación se efectúa por la ruptura de zonas deformadas y por consiguiente, la energía se transmite a la superficie en forma de ondas elásticas que se propagan en todas las direcciones en el interior o por la superficie terrestre, causando oscilaciones y vibraciones del material a través del cual se propagan. El punto de origen o liberación de esta energía en todo sismo se llama foco o hipocentro, mientras que el punto de la superficie más próximo al foco se llama epicentro (Abou y Lee, 2005).

2.3.3. Ondas sísmicas

Los temblores son generados por las fuerzas internas de la corteza terrestre, cuando ocurre un sismo las ondas se propagan por el interior de ella; si la tierra fuese homogénea las ondas sísmicas viajarían en línea recta del lugar donde ocurre el sismo hasta diferentes puntos de la corteza terrestre (Medina, 1997).

Cuando ocurre un terremoto primero se percibe en un sitio a cierta distancia del epicentro, la onda P, con un efecto de retumbo que hace vibrar paredes y ventanas. Unos segundos después llega la onda S, con movimiento vertical de arriba hacia abajo -y viceversa- y de lado a lado, de tal manera que sacude la superficie del terreno vertical y horizontalmente. Este es el movimiento responsable del daño a las construcciones, en zonas cercanas al epicentro e incluso a distancias considerables (CENAPRED, 2011).

2.3.4. Magnitud

El concepto de magnitud fue introducida por Richter en 1935 para comparar la energía liberada en el foco por diferentes sismos. La energía total liberada por un terremoto es la suma de la energía transmitida en forma de ondas sísmicas y la disipada mediante otros fenómenos, principalmente en forma de calor. La magnitud caracteriza la energía total de los sismos, calculada a partir de registros sísmicos. Por este motivo, Richter considera que la amplitud de las ondas sísmicas es prácticamente una medida de la energía total y establece para la magnitud local (ML), la siguiente relación (Bozzo y Barbat, 2004).

$$M_L = \log A - \log A_0$$

2.3.5. La intensidad

La primera manera de describir el tamaño del terreno es por sus efectos, lo que es lo mismo, por como lo percibe la población, por los daños ocasionados en edificios y construcciones y/o por las modificaciones que deja sobre la naturaleza. Sobre estos tipos de efectos se basa este parámetro que recibe el nombre de *intensidad sísmica* (Ayala y Olcina, 2002).

En 1902, G. Mercalli introduce una nueva escala con 10 grados de intensidad, siendo posteriormente incrementada a 12 por A. Cancani. En 1923 Sieberg publica una escala más detallada, pero basada en el trabajo de Mercalli-Cancani. En 1931, O. Wood y F. Newmann proponen una nueva escala, modificando y condensando la escala de Mercalli, Cancani-Sieberg, surgiendo así la escala Mercalli Modificada (MM). Esta escala de 12 grados expresada en números romanos y fue ampliamente utilizada en el mundo. Sin embargo, actualmente se utiliza la escala **MSK-1964** elaborada por tres sismólogos europeos: Medvedev, Sponhever y Karnik. Esta escala consta de 12 grados denotados de I a XII (Vizconde, 2004).

2.3.6. Relación entre intensidad y magnitud

Como las intensidades son medidas de daños, y estos están muy relacionados con las aceleraciones máximas causadas por las ondas sísmicas, una de tantas relaciones es la propuesta por Richter y se muestra en la siguiente ecuación:

$$\log a \text{ (cm/s}^2\text{)} = I/3 - 1/2$$

Donde “I” es la intensidad y “a” es la aceleración del terreno. Esta relación nos dice que una intensidad XI corresponde a aceleraciones del orden de $1468 \text{ cm/s}^2 = 1.5g$, donde $g = 980 \text{ cm/s}^2$ que corresponde a la aceleración de la gravedad en la superficie terrestre; una intensidad de IX corresponde a $0.7g$ y una de VII a $0.07g$. La aceleración mínima que percibe el ser humano es del orden de $0.001g$, correspondiente a la intensidad II (Peralta, 2002). Las relaciones se muestran en la siguiente tabla (Tabla 2).

Relación entre intensidad y magnitud según Richter		
Intensidad	MM Magnitud Richter	Característica
I	Hasta 2.5	Instrumental
II	De 2.5 a 3.1	Muy Débil
III	De 3.1 a 3.7	Ligero
IV	De 3.7 a 4.3	Moderado
V	De 4.3 a 4.9	Algo Fuerte
VI	De 4.9 a 5.5	Fuerte
VII	De 5.5 a 6.1	Muy Fuerte
VIII	De 6.1 a 6.7	Destructivo
IX	De 6.7 a 7.3	Ruinoso
X	De 7.3 a 7.9	Desastroso
XI	De 7.9 a 8.4	Muy Desastroso
XII	De 8.4 a 9	Catastrófico

Tabla 2. Relación entre intensidad y magnitud sísmica. Fuente: Escenarios de Vulnerabilidad y de Daño Sísmico en las Edificaciones de Mampostería de uno y dos Pisos. Peralta, 2003

2.3.7. Intensidad macrosísmica

Los métodos subjetivos evalúan los efectos de los terremotos a través del daño que producen en las construcciones y en el entorno físico. La intensidad macrosísmica proporciona una clasificación de la severidad del movimiento del terreno a través de dichos efectos (Bozzo y Barbat, 2004).

La primera característica que es necesario conocer es la localización del lugar donde se produce la rotura del terreno o hipocentro y de su proyección sobre la superficie de la Tierra o epicentro. Esto permitirá poder relacionarlo con posibles fallas en el terreno y en definitiva su ubicación tanto en el espacio como en el tiempo.

2.3.8. Aceleración sísmica

La aceleración sísmica es la aceleración del movimiento del terreno producido por las ondas sísmicas generadas por un terremoto y es el valor utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas de riesgo sísmico. Durante un terremoto, el daño en los edificios y las infraestructuras está íntimamente relacionado con la velocidad y la aceleración sísmica, y no con la magnitud del temblor. En terremotos moderados, la aceleración es un indicador preciso

del daño, mientras que en terremotos muy severos la velocidad sísmica adquiere una mayor importancia.

La aceleración es el incremento de la velocidad por unidad de tiempo la cual la hace una medida de intensidad. Se mide en cm/s^2 . Por ejemplo, una aceleración de 20 cm/s^2 significa que en un segundo la velocidad de una partícula se incrementó 20 cm/s más rápido (Garatachia, 2013).

La aceleración máxima del suelo está relacionada con la fuerza de un terremoto en un sitio determinado. Entre mayor es este valor, mayor es el daño probable que puede causar un sismo, Normalmente la unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio.

$$(g = 9,81 \text{ m/s}^2)$$

La aceleración sísmica tomada una vez como intensidad tiene una correlación con la tabla de Mercalli ya que en ella se mide la intensidad la cual una vez establecida se obtienen diferentes valores (Tabla 3).

Tabla 3. Relación de la aceleración con la escala de Mercalli

Escala de Mercalli	Aceleración sísmica (g)	Velocidad sísmica (cm/s)	Percepción del temblor	Potencial de daño
I	< 0.0017	< 0.1	No apreciable	Ninguno
II-III	0.0017 - 0.014	0.1 - 1.1	Muy leve	Ninguno
IV	0.014 - 0.039	1.1 - 3.4	Leve	Ninguno
V	0.039 - 0.092	3.4 - 8.1	Moderado	Muy leve
VI	0.092 - 0.18	8.1 – 16	Fuerte	Leve
VII	0.18 - 0.34	16 – 31	Muy fuerte	Moderado
VIII	0.34 - 0.65	31 – 60	Severo	Moderado a fuerte
IX	0.65 - 1.24	60 – 116	Violento	Fuerte
X+	> 1.24	> 116	Extremo	Muy fuerte

Tabla 3. Relación de la aceleración con la escala de Mercalli, Fuente: (USGS, 2011)

3. Marco metodológico

La vulnerabilidad sísmica es un factor detonante hacia la población y una característica de su propio comportamiento ante la acción de un sismo descrito a través de una ley causa-efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño.

Existen varias metodologías y técnicas que varios autores han propuesto para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de diferentes tipos de instalaciones. Estas metodologías de evaluación dependen de los siguientes factores.

- Naturaleza y objetivo del estudio
- Información disponible
- Características del elemento que se pretende estudiar
- Metodología de evaluación empleada
- Resultado esperado
- Destinatario de esta información

3.1. Selección de las metodologías de evaluación

Las metodologías se seleccionaron de tal manera que consistieran en análisis visuales rápidos y teniendo en cuenta la tipología estructural y socioeconómica de la zona de estudio, algunos aspectos son obtenidos mediante la plataforma conocida como *Google earth*, en una de sus opciones como lo es el *Street view*, de tal manera que permita identificar algunas características del lugar.

Los métodos seleccionados cuanto a la vulnerabilidad en la zona del estudio son los siguientes:

- Metodología propuesta por CENAPRED (2010)
- Procesamiento en un Sistema de Información Geográfica

3.2. Método para evaluar la vulnerabilidad socioeconómica

Los procedimientos que se utilizaran para completar la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica ante el riesgo sísmico en el del municipio de Acambay comprenden:

- Selección de las metodologías de evaluación
- Obtención de datos existentes
- Trabajo de campo
- Trabajo de gabinete

La metodología contempla el desarrollo de la investigación, se inicia con el análisis de las condiciones físico-naturales que permite conocer y determinar los niveles del riesgo sísmico del área, seguida del análisis de las características socioeconómicas (población total, densidad, PEA, etc.) que lleva a la evaluación de las diferentes vulnerabilidades de la que está expuesta la zona urbana del municipio de Acambay y estimar sus niveles para obtener las pérdidas socioeconómicas de la zona de estudio.

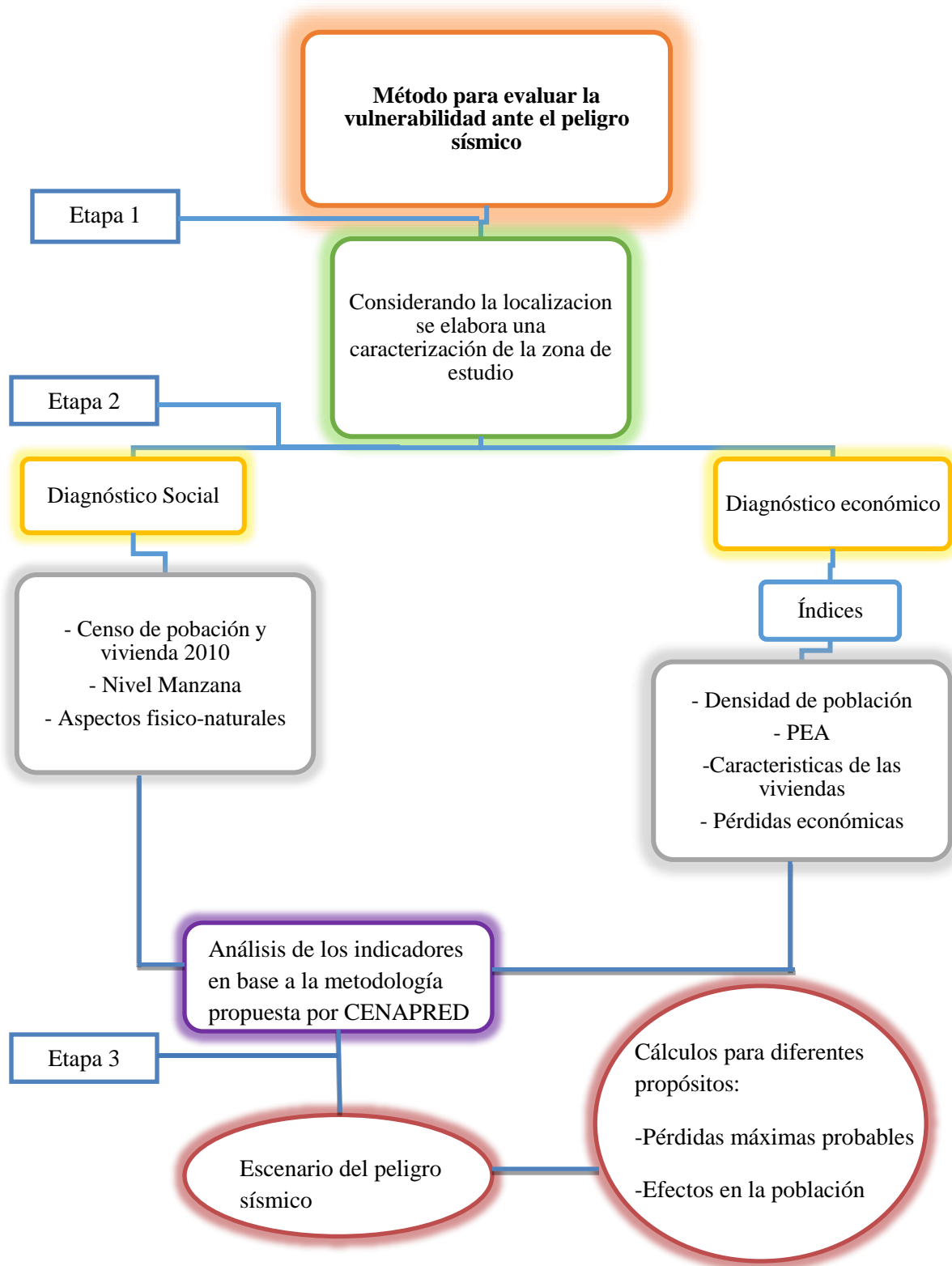


Figura 3. Estructura general del marco metodológico.

3.2.1. Etapa 1 Cálculo de la peligrosidad sísmica

Durante esta etapa de estudio, se elaboró una búsqueda de datos existentes como planos, estudios de suelo e información referente a aspectos socioeconómicos de las viviendas de las zonas urbanas del municipio de Acambay, del cual fue necesario contar con información precisa como lo es a nivel manzana.

Para determinar lo que es el peligro sísmico es necesario conocer las características físicas de la zona de estudio, es por ello que se tomó la decisión de realizar una caracterización físico-geográfica destacando así la geología, la cual es un factor con un grado de importancia alto, ya que permitirá identificar algunas características geológicas de la cabecera municipal.

Para el análisis de peligro se ha tomado en cuenta las variables de pendiente, geología y geodinámica externa. Entre las fuentes de referencia se contó con el documento de *“Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadej fault, Trans-Mexican Volcanic Belt”* (Langridge, 2000), las Cartas Geológicas de INEGI (E14-A16, E14-A17, E14-C86, E14-C87) a escala 1:50,000 las cuales conforman el municipio de Acambay y el modelo digital del terreno para la definición de las curvas de nivel. A manera de verificación se tomó en cuenta lo observado en las visitas de campo.

Dicho proceso de la información permitirá obtener productos cartográficos de la zona de estudio, esto para ampliar el panorama de la investigación donde existe una congruencia y factibilidad de la información.

3.2.2. Etapa 2 Cálculo del análisis de vulnerabilidad

Esta etapa de la investigación está basada de manera en la metodología propuesta por el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) para la evaluación de la vulnerabilidad física y social; dicha metodología plantea una serie de indicadores de con determinada ponderación para cada uno de ellos, la mayoría de estos indicadores son posibles de obtener utilizando información de los censos de población y vivienda, además de que está planteada para desarrollarse en una escala espacial a nivel de localidad donde los datos que

se obtengan del censo de población y vivienda 2010, serán manipulada a nivel Manzana para un mejor uso de la información.

Para obtener la vulnerabilidad socioeconómica de la zona de estudio se realizara un diagnóstico donde se hará uso de la metodología con respecto a aspectos socioeconómicos del trabajo de Garatachía (2013) quién se basó en la metodología propuesta por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). En las siguientes tablas se muestran los indicadores, así como su fórmula de obtención y su descripción, retomado del trabajo antes mencionado.

Rubro: Salud			
Indicador	Fórmula		Descripción
Médicos por cada 100 habitantes	$PM = \frac{NoM}{PT} \times 100$ Donde: PM = Proporción de médicos. NoM = Número de médicos en el municipio. PT = Población total.		La Secretaría de Salud indica que es aceptable que exista un médico por cada 100 habitantes. La baja proporción de médicos se reflejará en las condiciones de salud de la población, lo que agudiza las condiciones de vulnerabilidad, situación que se podría acentuar en caso de emergencia o desastre
Porcentaje de la población no derechohabiente	$\%PND = \frac{PND}{PT} \times 100$ Donde: $\%PND$ = Porcentaje de Población No Derechohabiente. PND = Población No Derechohabiente. PT = Población total		Este indicador muestra el porcentaje de la población no derechohabiente, la cual es la que menos acceso tiene a servicios de salud y en consecuencia es la que en menor medida acude a las instituciones de salud, esta situación incide directamente en la vulnerabilidad de la población.

Tabla 4. Indicadores para el rubro de salud, Fuente: CENAPRED

Rubro: Educación			
Indicador	Fórmula		Descripción
Porcentaje de analfabetismo	$\%A = \frac{P15aA}{PT15a} \times 100$ Donde: $\%A$ = Porcentaje de analfabetismo. P15aA = Población de 15 años y más analfabeta. PT15a = Población total de 15 años y más		Es un indicador que muestra el retraso en el desarrollo educativo de la población, que refleja la desigualdad en el sistema educativo. La falta de educación es considerada como uno de los factores claves con respecto a la vulnerabilidad social.
Demanda de	$DEB = \frac{PT6_11aAE}{PT6_11a} \times 100$		El indicador muestra a la población que se encuentra en edad de demandar los servicios

Educación Básica	<p>Donde:</p> <p>DEB= Demanda de Educación Básica.</p> <p>PT6_11aAE = Población de 6 a 11 años que asiste a la escuela</p> <p>PT6_11a = Población total de 6 a 11 años.</p>	de educación básica, la cual es fundamental para continuar con capacitación posterior que proporcione las herramientas para acceder al mercado laboral
Grado promedio de escolaridad	<p>GPE = SAAP15a/PT15a</p> <p>Donde:</p> <p>GPE = Grado Promedio de Escolaridad.</p> <p>SAAP15a = Suma de Años Aprobados de Primero de Primaria hasta el último año alcanzado de la población de 15 años y más.</p> <p>PT15a = Población Total de 15 años y más.</p>	Refleja a la población que cuenta con menos de nueve años de educación formal, la educación secundaria es obligatoria para la conclusión del nivel básico de educación. Se considerará a la población mayor de 15 años que no ha completado la educación secundaria como población con rezago educativo.

Tabla 5. Indicadores para el rubro de educación, Fuente: CENAPRED

Rubro: Vivienda		
Indicador	Fórmula	Descripción
Porcentaje de viviendas sin agua entubada	<p>$\%VNDAE = TVNDAE / TVPH \times 100$</p> <p>Donde:</p> <p>$\%VNDAE$ = Porcentaje de Viviendas que No Disponen de Agua Entubada.</p> <p>TVNDAE = Total de Viviendas que No Disponen de Agua Entubada.</p> <p>TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas.</p>	La falta de agua entubada en caso de desastre puede llegar a retrasar algunas labores de atención, ya que el llevar al lugar agua que cumpla con las mínimas medidas de salubridad toma tiempo y regularmente la obtención y el almacenamiento de agua en viviendas que no cuentan con agua entubada se llevan a cabo de manera insalubre.
Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje.	<p>$\%VND = TVND / TVPH \times 100$</p> <p>Donde:</p> <p>$\%VND$ = Porcentaje de Viviendas que No disponen de Drenaje.</p> <p>TVND = Total de Viviendas que No Disponen de Drenaje.</p> <p>TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas.</p>	La carencia de drenaje en una vivienda puede llegar a aumentar su vulnerabilidad frente a enfermedades gastrointestinales, las cuales en situaciones de desastre aumentan considerablemente.
Porcentaje de viviendas con piso de tierra.	<p>$\%VPT = TVPT / TVPH \times 100$</p> <p>Donde:</p> <p>$\%VPT$ = Porcentaje de Viviendas con Piso de Tierra.</p>	Las viviendas de piso de tierra aumentan la vulnerabilidad de sus habitantes frente a desastres naturales, ya que el riesgo de contraer enfermedades es mayor y su

TVPT = Total de Viviendas con Piso de Tierra. TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas.	resistencia frente a ciertos fenómenos es menor que otro tipo de construcciones.
--	--

Tabla 6. Indicadores para el rubro de vivienda, Fuente: CENAPRED

Rubro: Empleo e ingresos		
Indicador	Fórmula	Descripción
Razón de dependencia.	$RD = POB0_14 + P65a/P15_64a \times 100$ Donde: RD = Razón de Dependencia POB0_14 = Población de 0 a 14 años. P65a = Población de 65 años P15_64a = Población de 15 a 64 años.	Mientras mayor sea la razón de dependencia, más personas se verán en desventaja frente a un desastre de origen natural ya que su capacidad de respuesta y prevención prácticamente va a ser nula.
	$TDA = NoPD/PEA \times 100$ Donde: TDA = Tasa de Desempleo Abierto. NoPD = Número de Personas Desocupadas. PEA = Población Económicamente Activa.	Este indicador se refiere directamente a la situación de desempleo que influye sobre la capacidad de consumo de la población así como en la capacidad de generar los recursos que posibiliten la adquisición de bienes satisfactorios.

Tabla 7. Indicadores para el rubro de vivienda, Fuente: CENAPRED

Rubro: Población		
Indicador	Fórmula	Descripción
Porcentaje de la Población de Habla Indígena	$\%PI = P5HLI/P5 \times 100$ Donde: $\%PI = \text{Porcentaje de Población Indígena.}$ $P5HLI = \text{Población de 5 años y más que Habla una Lengua Indígena}$	P5 = Población de 5 años y más, la mayoría de los municipios donde se asienta la población indígena, presenta una estructura de oportunidades muy precaria, lo cual se refleja en condiciones de vulnerabilidad de esta población.

Tabla 8. Indicadores para el rubro de población, Fuente: CENAPRED

Para constatar la información obtenida por medio de los indicadores se realizara estadística y aplicación de encuestas en la cabecera municipal, dado que la información que sea recopilada en las inspecciones visuales y en las entrevistas realizadas en las viviendas se sistematizaran y analizarán con ayuda del software Microsoft Excel obteniendo así los

niveles de vulnerabilidad socioeconómica de la zona de estudio de acuerdo a la metodología planteada.

Como uno de los objetivos es la caracterización física y socioeconómica de la cabecera municipal de Acambay y sus alrededores, el análisis se realizara mediante la utilización de un SIG, por medio de mapas cartográficos y topográficos exclusivos del municipio, los que se obtuvieron del censos de población y vivienda 2010 de INEGI, los cuales presentan la información necesaria para la realización de la caracterización de la zona de estudio, una vez realizado esto se determinara cómo se encuentra el municipio y en su caso la cabecera, ya que del análisis de la caracterización se obtendrá una idea de las posibles relaciones del medio físico con el social.

3.2.3. Evaluación de la capacidad de reacción

Una vez realizado el análisis de vulnerabilidad socioeconómica se determinara la evaluación para la capacidad de reacción de la población ante el peligro sísmico tomando en cuenta los lugares en donde se encuentre mayor población, tales como: escuelas, las cuales se tomaran en cuenta desde el nivel básico hasta media superior, además se sumaran los hospitales o centros de atención medica que existan en la zona de estudio, realizando así unidades espaciales de concentración de población, ya que esto muestra cómo se encuentra la sociedad en aspectos socioeconómicos. (Tabla 9)

Capacidad de reacción a partir de su vulnerabilidad	
Aspectos contextuales	Análisis de los aspectos demográficos actuales y proyectados. Amenazas recientes, condiciones económicas; estructuras y problemas políticos; ubicación geofísica; condiciones ambientales; acceso/distribución de información y conocimientos tradicionales; participación de la comunidad; capacidad organizativa y de gestión; vinculaciones con otras entidades regionales/nacionales; infraestructura y servicios críticos.
Grupos sociales altamente vulnerables	Infantes/niños; personas mayores vulnerables; económicamente postergados; discapacitados intelectual, sicológica y físicamente; familias con padre único; inmigrantes nuevos y visitantes; aislados social y físicamente; enfermos graves; personas con viviendas inadecuadas.
Definición de necesidades	Medios de subsistencia; bienestar físico y mental; seguridad; hogar/vivienda; alimentación y agua; servicios sanitarios; vínculos sociales; información; mantenimiento de medios de subsistencia; mantenimiento de valores sociales/ética.

Aumento de la capacidad vulnerabilidad	Tendencias económicas y sociales positivas; acceso a medios productivos de subsistencia; estructuras familiares y sociales sólidas; buen gobierno; redes regionales/nacionales establecidas; estructuras y gestión participativas de la comunidad adecuada; infraestructura física y de servicios; planes y programas locales; reservas y recursos materiales y financieros; valores/metast compartidas por la comunidad; capacidad de recuperación ambiental.
Mecanismos prácticos de evaluación	Marcos conceptuales constructivos; fuentes de información que incluyen: expertos locales, reuniones de grupos interesados, datos censales; encuestas; programas de extensión; registros históricos; mapas, características ambientales.

Tabla 9. Análisis de la capacidad de reacción a partir de los niveles de vulnerabilidad, Fuente: (EIRD-Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU), 2004)

3.2.4. Etapa 3. Escenarios de desastre

En esta última etapa la realización del escenario de riesgo se basa en la posibilidad que un sismo de intensidad de 7.0 grados o mayor en escala de Richter con epicentro al ocurrido en 1912 pueda causar daños considerables, no sólo por la intensidad del sismo, sino también por los tipos de construcción existentes y la capacidad de reacción desarrolladas en los habitantes de la cabecera municipal de Acambay. Se pretende que los diferentes niveles de información obtenidos en las etapas anteriores tenga como objetivo escenificar una imagen post-evento de desastre lo más ajustada posible a la realidad donde se obtendrán las pérdidas máximas probables y los efectos hacia la población de la zona de estudio.

Una vez generados los escenarios de desastre permitirán prevenir a la población ante dicho fenómeno natural lo cual permita en un futuro generar un plan de gestión local de riesgo sísmico donde surjan propuestas para prevenir a la sociedad, todo esto coadyuvado mediante los datos históricos, así como los resultados del estudio de vulnerabilidad socioeconómica que permita salvaguardar la vida y economía de la población en la cabecera municipal de Acambay.

4. Caracterización física y social del área de estudio, Acambay

4.1. Caracterización físico-geográfica, Acambay

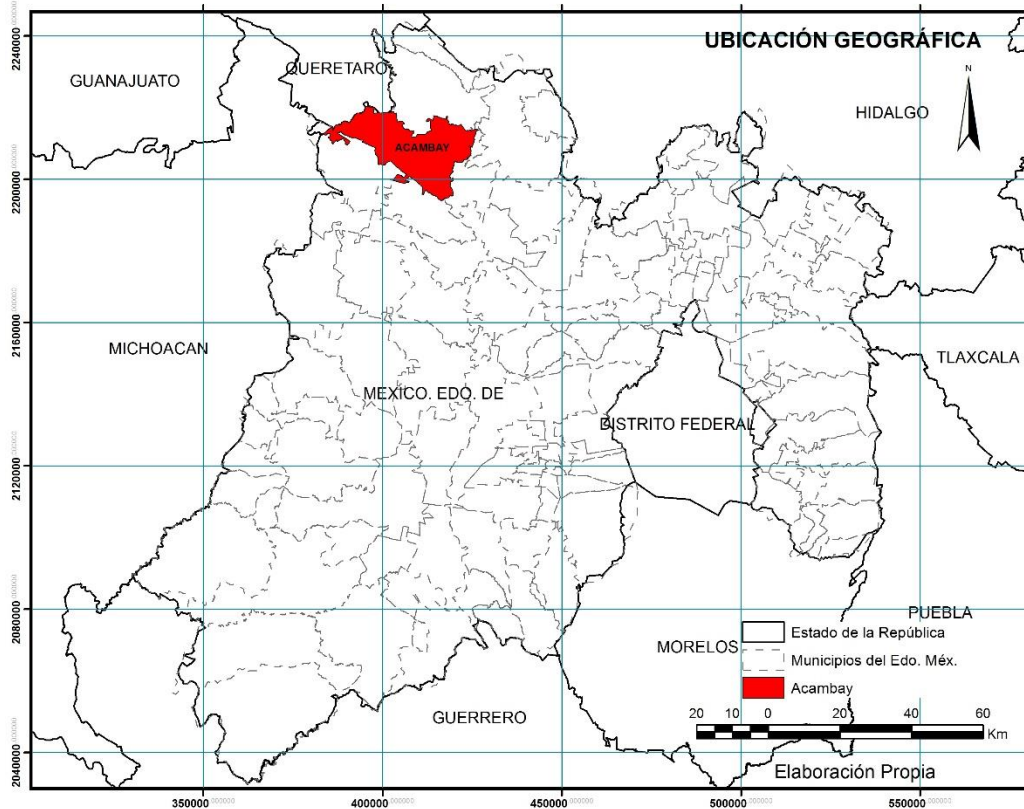


Figura 4. Ubicación geográfica del municipio de Acambay

El municipio de Acambay se localiza al noroccidente del municipio de Toluca. La cabecera municipal está situada entre los paralelos $19^{\circ}57'18''$ de latitud norte y a $99^{\circ}50'47''$ de longitud oeste con una altura de 2,552 metros sobre el nivel del mar (**msnm**), colinda al norte con el municipio de Aculco y con el Estado de Querétaro; al sur con los municipios de Temascalcingo, Atlacomulco y Timilpan, tiene una extensión territorial de 492.13 km^2 .

4.1.1. Geología

La zona de estudio forma parte del Sistema Volcánico, el cual atraviesa el país de W a E en la porción central de México abarcando parte de los estados de México, Michoacán, Querétaro, Guanajuato y Jalisco (López, 1976).

El Graben de Acambay está compuesto por tres sistemas de fallas principales: la Falla Acambay-Tixmadejé la cual delimita el margen norte del graben, la culpa de Pastores formando el margen sur, y las fallas intra-graben como los que están cerca de Temascalcingo (Figura 5). La falla de Acambay-Tixmadejé tiene 42 km de largo, generalmente ESE con una tendencia escarpada haciéndola así una falla normal sur-inmersión, que forma un escarpe de hasta 500m compuesto por rocas volcánicas del Neógeno (Langridge, 2000). La falla maestra del graben de Acambay fue la principal fuente sismogénica del terremoto de 1912, como queda demostrado por la ruptura de la tierra casi continua, y la ubicación del epicentro por Urbina y Camacho (1913).

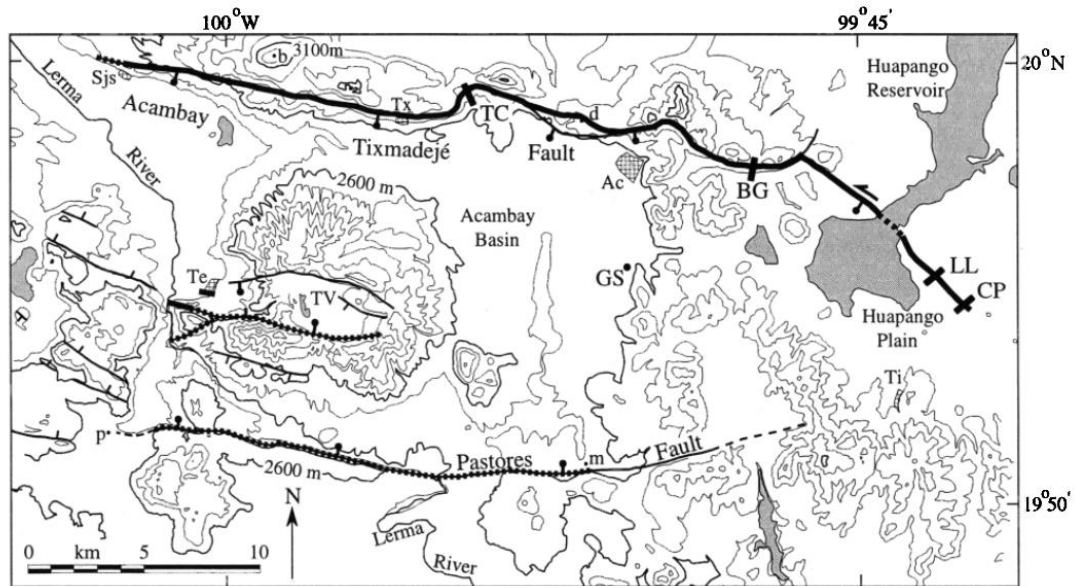


Figura 5. Delimitación del graben de Acambay, Fuente: (Langridge, 2000)

El municipio de Acambay está compuesta de una variedad de rocas ígneas ocupando cerca del 83% de la superficie, la roca sedimentaria se encuentra en un 3% y el resto del suelo es ocupado por aluvión (suelo) en un 14%. (Figura 6).

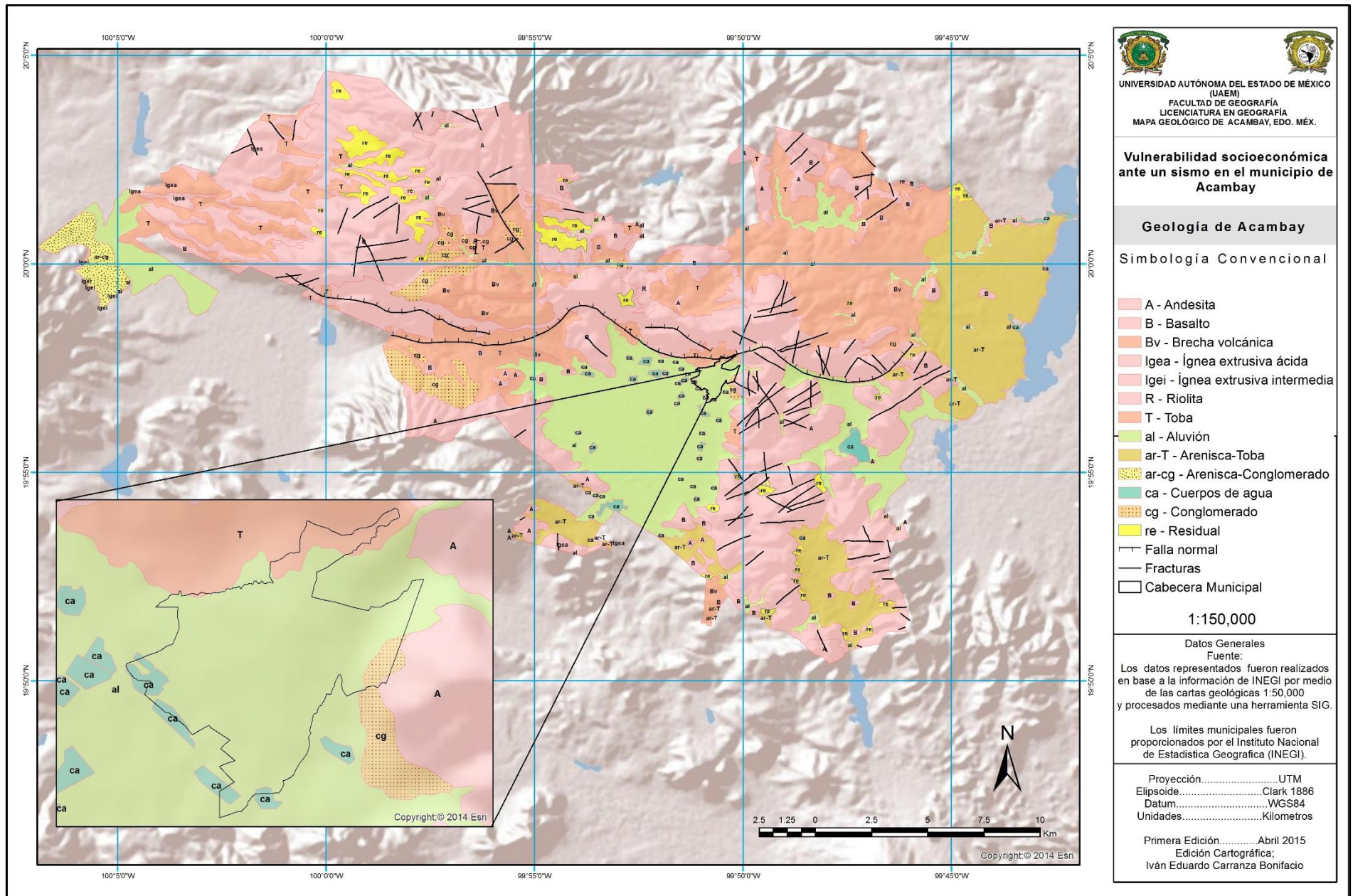


Figura 6. Geología de Acambay, Fuente: Elaboración propia en base a las cartas geológicas 1:50,000, INEGI

Se observa que la falla de Acambay atraviesa la mayor parte del municipio y se encuentra principalmente sobre la roca ígnea, como lo es la toba, la andesita y el basalto donde estos tres tipos de roca ocupan cerca del 70% del municipio.

La predominancia geológica del municipio parte del período del Neógeno y del Cuaternario, además de que parte del suelo es producto de material piroclástico originado del volcán Jocotitlán, ya que este se encuentra en dirección sur ubicado en el municipio de Atlacomulco.

El sistema de fallas Morelia-Acambay (MAFS) es una estructura de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), en la parte central de la zona de fallas Chapala-Tula. Estudios previos indican que la MAFS son un sistema de fallas en la parte central de la FVTM y es sísmicamente activo, para la falla Acambay tiene un intervalo de recurrencia de 3.600 años (Garduño *et al*, 2009).

4.1.2. Geomorfología

El municipio se encuentra en la zona montañosa perteneciente al eje volcánico con una altitud aproximada de 2,553 msnm, La superficie del municipio es irregular, con cerros y formaciones montañosas, profundas barrancas, mesetas y extensos valles que son útiles para la recarga de los mantos acuíferos en época de lluvias. Entre los valles más importantes están: El Valle de Acambay (Valle de los Espejos), San Lucas, Muyejé, Boshí, Dongú, Pilares y Ganzdá, cuyas altitudes varían de los 2,500 a 2,900 msnm.

El valle más importante es el de Acambay (Valle de los Espejos) ya que es el más extenso, se encuentra a 2,450 msnm, está rodeado completamente por cadenas montañosas con una leve escisión hacia la parte sur, por donde fluyen las aguas que llevan a depositar las corrientes que bajan de ellas.

En cuanto a la geomorfología del lugar, se puede precisar que pertenece al eje volcánico “Tarasco-Náhuatl”, donde sobresalen las montañas llamadas: Peña Redonda y Peña Larga o Picuda con 3,200 y 3,000 msnm, los cerros de las Palomas, El Colmilludo, San Antonio, Dongú, La Cumbre, La Manga, Cerro Gordo, El Cafí, Pueblo Nuevo, El Gato, Cruz

Alta, Guadalupe y Boshi forman parte del Sistema Volcánico Transversal y que se encuentran en una zona sísmica.

Las montañas y mesetas ocupan casi dos terceras partes de la superficie total del municipio. Es de citarse la cadena montañosa que dentro del municipio se denomina como Nadó – Agostadero, o lo que en otros términos es la cadena Tarasco-Náhuatl, que cruza el municipio de este a oeste y tiene una longitud de 47 km y una anchura aproximada de 2..5 km.

4.1.3. Hidrografía

Dentro del municipio sólo existe un río con caudal constante o agua continua denominado las Adjuntas, cuya capacidad llega hasta un metro cúbico en invierno y presenta una red de arroyos de corriente ocasional que se forman durante la temporada de lluvias, con lo que se alimentan depósitos, bordos, y presas así como la presa de Huapango.

Se puede mencionar que el río de la Laguna ubicado en el Valle de los Espejos y que sirve para reunir todas las aguas que alimentan este valle. El Río de las juntas, al pie del Cerro El colmilludo, cuyo cauce, unido a todos los arroyos del norte y del este del Municipio, aumenta el caudal del Río San Juan. El Río de La Laguna y los arroyos de San Francisco, Agostadero, La Loma, Puenteillas, Tixmadejé, Camposanto, Pathé, Casa Colorada, San Pedro, Agua Limpia, Pueblo Nuevo, San Mateo, Guadalupe y La Estancia, se unen para aumentar el caudal del río Lerma.

Es una característica importante de éste municipio el conjunto de drenajes existentes en el Valle de Acambay, lo que indujo a bautizarlo como “El Valle de los Espejos”, a causa del gran número de pequeños depósitos de agua, que sirven como represas para el riego en la agricultura o como abrevadero para los animales, y que proporcionan una original belleza a éste valle cuando se le contempla desde la altura.

A éste municipio pertenece también, y en parte, La presa de Huapango, capaz de contener 120 millones de metros cúbicos de agua y que sirve para regar las tierras de otros municipios y de otros estados, como los de Querétaro e Hidalgo.

El Municipio forma parte de dos Regiones Hidrológicas, al suroeste la Cuenca del Río Lerma-Toluca y las subcuencas Río Otzolotepec-Atlacomulco y Atlacomulco-Paso de Ovejas; al noreste la Cuenca del Río Moctezuma y subcuencas Río Prieto y Arroyo Zarco.

La mayor parte del sistema hidrológico del territorio de Acambay se forma por corrientes intermitentes, en el municipio sólo existe un río de caudal permanente, mismo que se denomina “Las Ajuntas” localizado al pie del Cerro Colmilludo y cuyo caudal llega hasta un metro cúbico en invierno; así mismo, se localizan cuarenta y cinco manantiales, cuyas aguas se emplean para abastecer el consumo de las actividades agrícolas pecuarias y de uso doméstico.

Algunas corrientes hidrológicas formadas por varios afluentes como el río de la Laguna ubicado en el Valle de Acambay, además de los ríos de las comunidades de agostadero, La Loma, Puenteillas, Tixmadejé, Pathé, Campo Santo, Casa Colorada, entre otros que se unen para alimentar el caudal del Río Lerma.

El Valle de los Espejos cuenta dentro de su superficie con aproximadamente 2000 bordos y pequeñas presas que son alimentadas con las aguas de lluvia, siendo destinadas para uso agrícola y abrevaderos de animales. Así mismo, al municipio le corresponde una parte de la presa de Huapango, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 120'000,000 m³ de agua.

4.1.4. Características y uso de suelo

El territorio de Acambay comprende los siguientes tipos de suelos:

Feozem: se distribuye en el 55% del territorio y se caracteriza por tener una capa superficial suave, lo que los hace muy aptos para las actividades agropecuarias y forestales (FAO, 2007).

Planosol: se caracteriza por presentar una capa delgada de textura arcillosa, que los hace infértiles y muy propensos a la erosión (FAO, 2007). Comprende el 23% del territorio.

Vertisol: suelos profundos de textura y contenido arcilloso (FAO, 2007), en no menos del 30%, que presentan agrietamientos durante las sequías. Representan el 22% de la superficie municipal. (Figura 7)

El uso de suelo se distribuye de la siguiente forma:

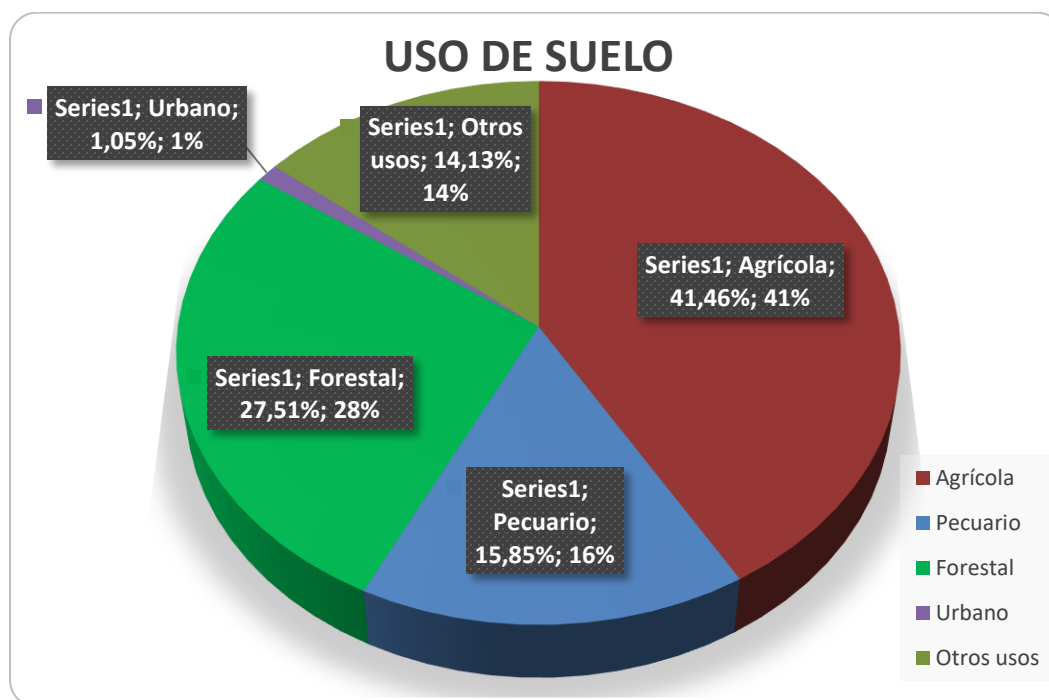


Figura 7, Gráfica de Distribución de uso de suelo

En la gráfica anterior se observa que los usos principales del suelo son, en primer orden, el correspondiente a las actividades agropecuarias, seguido de la forestales, entre ambas comprenden el 84.82% del territorio municipal, situación que aunada al hecho de que únicamente el 1.05% del suelo se destina al uso urbano, hacen de Acambay un municipio evidentemente rural.

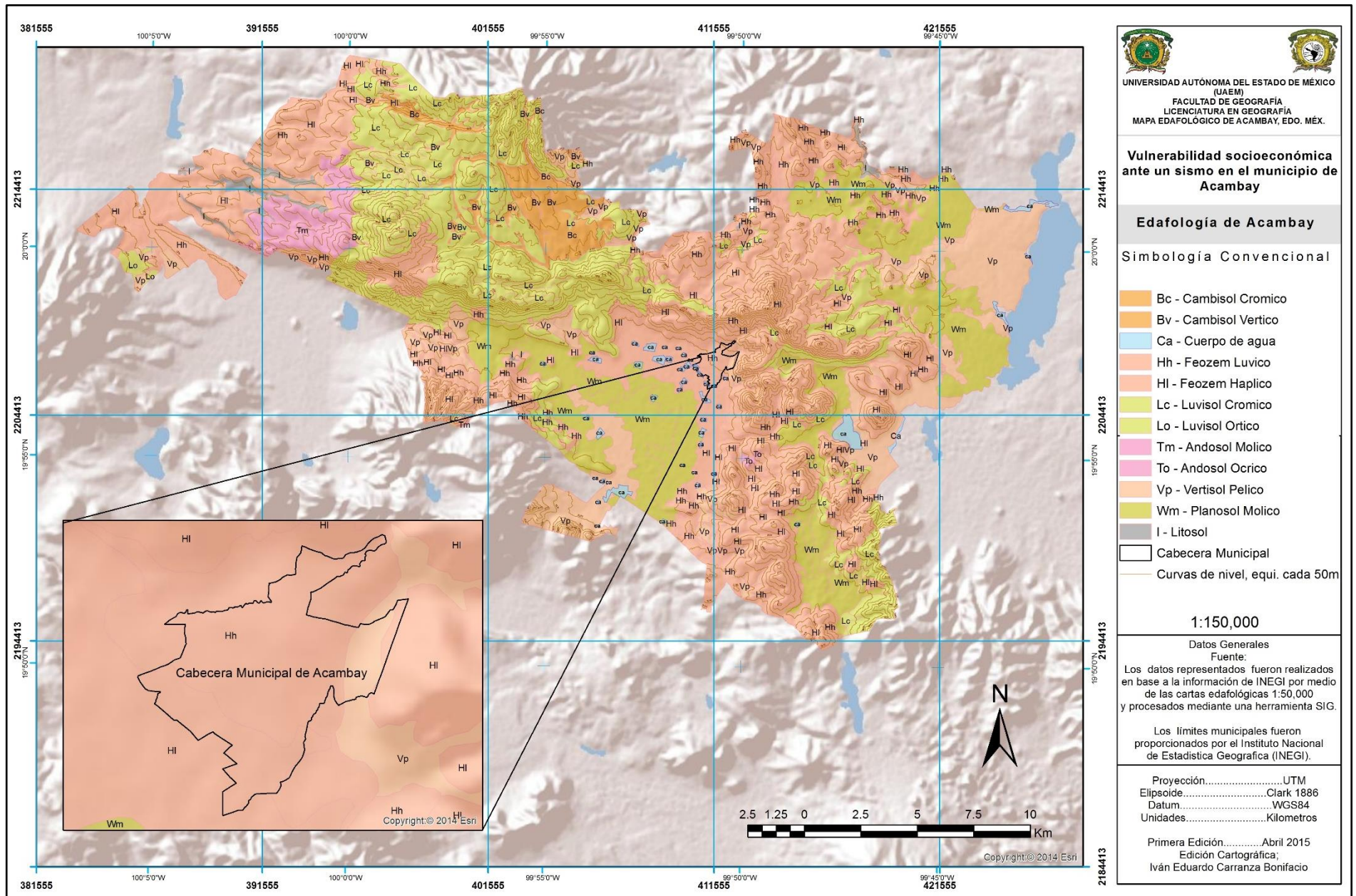


Figura 8. Edafología de Acambay, Fuente: Elaboración propia en base a las cartas edafológicas 1:50,000 INEGI

4.2. Caracterización social, económica y demográfica

4.2.1. Dinámica demográfica

De acuerdo con el censo realizado por el INEGI en 2010, el municipio cuenta con 60,918 habitantes distribuidos en las 102 localidades. Entre las localidades con más habitantes sólo dos podían ser consideradas urbanas por tener más de 2,500 habitantes las cuales son Pueblo Nuevo y la Cabecera de Acambay, en ellas habita el 14% del total de la población, mientras que el 86% restante se considera población rural.

La población ha aumentado en las últimas décadas con excepción del año 2005 que registró un descenso equivalente de alrededor de 1,500 personas, con una tasa de crecimiento promedio anual del 1.4%. En la gráfica 2 se observa que entre 1990 y 2010 la población creció poco más del 28%.

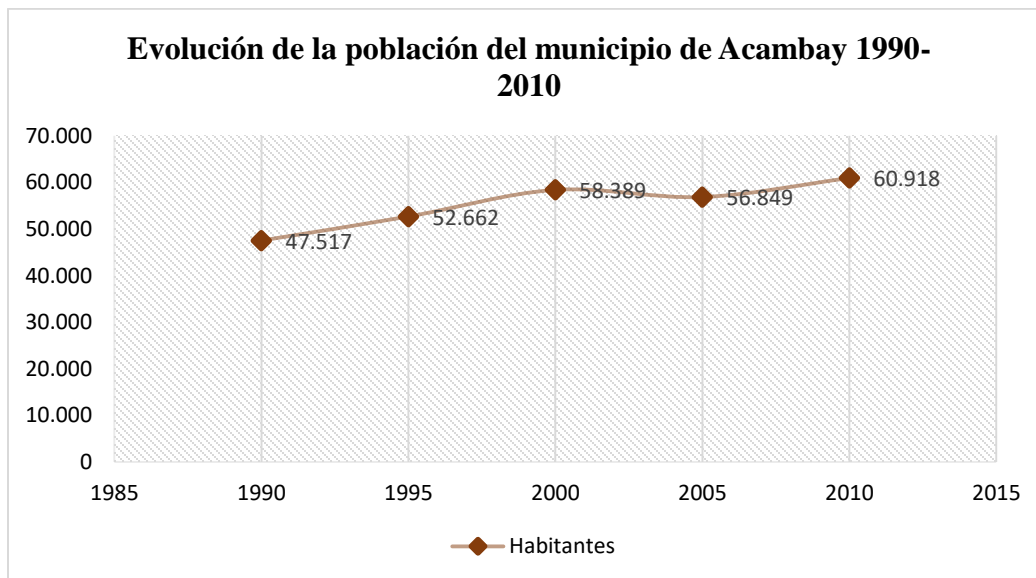


Figura 9, Gráfica de Evolución de la población del municipio de Acambay 1990 - 2010. Fuente: Elaboración propia con los censos de población de 1990-2010 del INEGI

4.2.2. Distribución de la población

Las localidades Acambay y Pueblo Nuevo son las únicas que se consideran urbanas, pues en ellas habitan 40,007 y 4,422 personas, respectivamente. Dicha población representa el 14% del total de habitantes, mientras que las 100 localidades restantes son rurales y concentran a 52,419 habitantes. Por lo anterior, se le considera un municipio semiurbano,

tomando en cuenta también las características económicas y de infraestructura (Núñez y Vargas, 1992). En la siguiente gráfica podemos observar la distribución de la población de acuerdo al tipo de localidad en la que habitan.

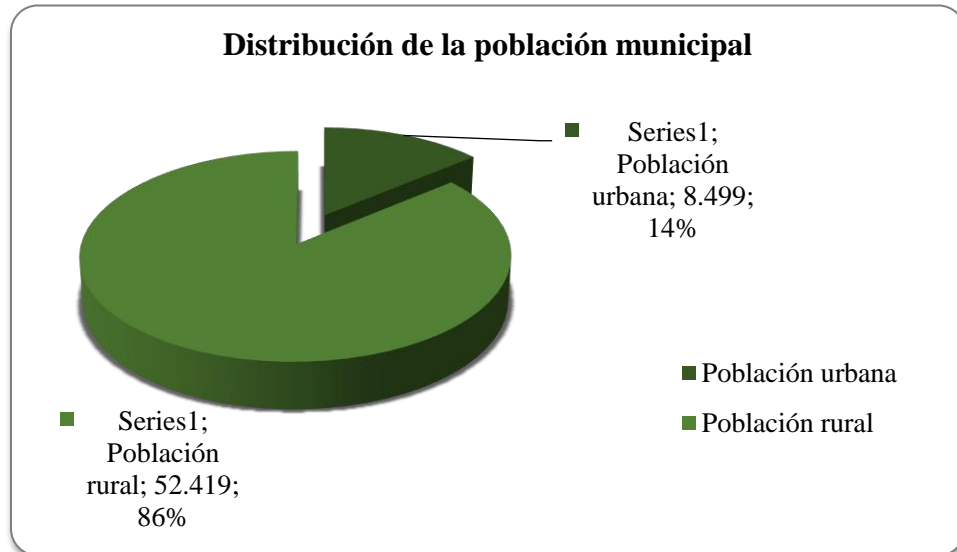


Figura 10, Gráfica de Distribución de la población municipal. Fuente: Elaboración propia con el censo de población y vivienda 2010 del INEGI

4.2.3. Estructura poblacional

El 52% de la población en el municipio son mujeres y 48% son hombres.

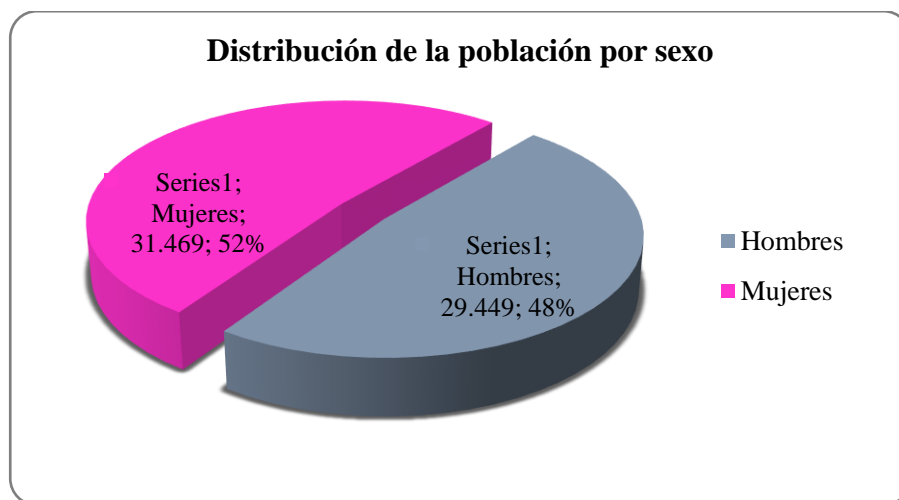


Figura 11, Gráfica de Distribución de la población por sexo. Fuente: Elaboración propia con el censo de población y vivienda 2010 del INEGI

Respecto a las edades, según el censo de 2010 (INEGI), del total de personas que habitan el municipio, 35,775 (59%) tienen entre 15 y 64 años, es decir, se encuentran en edad productiva, 21,005 (34%) son niños entre 0 y 14 años y solamente 4,021 (7%) tienen 65 años o más, es decir, su edad productiva se considera estadísticamente terminada. En la gráfica 5 se observa dicha distribución de la población, donde se demuestra que la población en edad de mayor productividad económica es considerablemente mayor y por lo tanto es un momento propicio para el desarrollo económico del municipio.

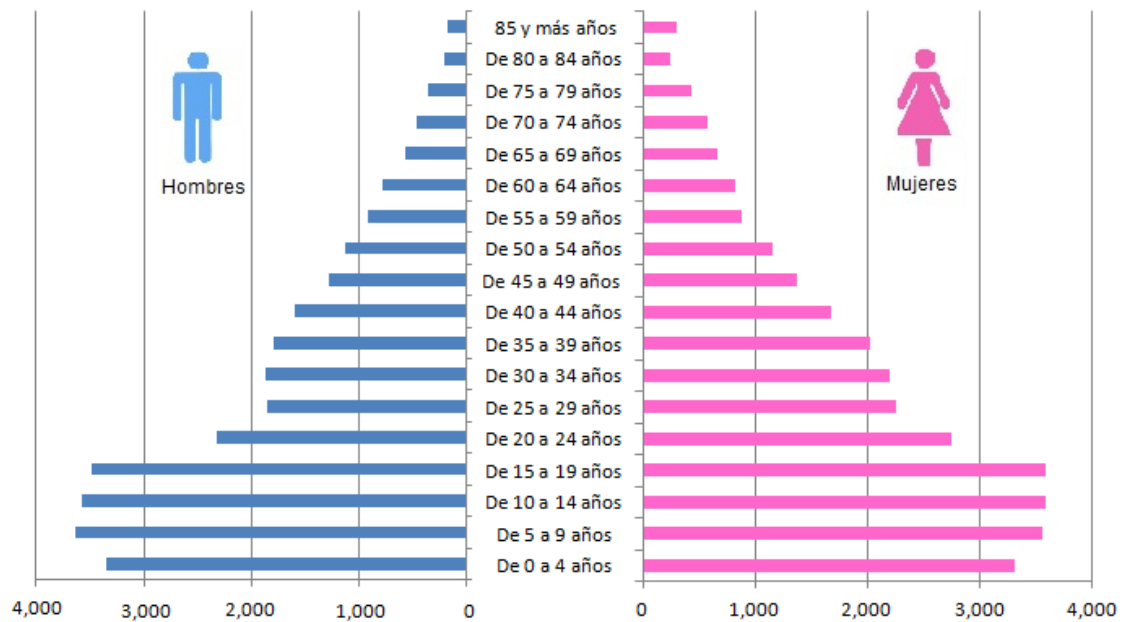


Figura 12, Gráfica de Distribución de la población por edad. Fuente: Elaboración propia con datos del CID (Consulta Interactiva de Datos) del censo de población y vivienda 2010 del INEGI

4.2.4. Densidad de población

Es normal que en zonas rurales el crecimiento de la población sea considerable año tras año, una retrospectiva de las cifras de crecimiento muestran que en el año 2005 el municipio de Acambay contaba con 56,849 habitantes y para 2010 cuenta con una población de 60,918 habitantes, dando así un crecimiento de 4069 habitantes cada 5 años denotando una densidad de poblacional de 131.16 hab/km² (SEDESOL).

Tabla 10. Densidad de población

Clave	Nombre	Población	% Pob_M
150010002	Agostadero (San José Agostadero)	645	1.06
150010012	Conejeras	1,028	1.69
150010016	Detiña (San Antonio Detiña)	2,453	4.03
150010024	Ganzda	2,433	3.99
150010037	Pueblo Nuevo	4,422	7.26
150010040	San Francisco Shaxni	2,211	3.63
150010043	San Juanico sector uno	1,080	1.77
150010048	Santa María Tixmadejé	1,152	1.89
Total:		19,501	32.01

Tabla 10. Densidad de población Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010

La densificación o crecimiento poblacional obedece a la falta del control del suelo urbano y a políticas habitacionales que aún no han podido ser concretadas con proyectos integrales en zonas marginales sin mencionar que la población aumenta al paso de los años generando problemáticas en cuanto al uso de suelo.

Cabe mencionar que las localidades con mayor densidad poblacional son la de Pueblo Nuevo y la cabecera de Acambay, ya que estas se han densificado a un ritmo considerable, aunado a esto hay localidades que se encuentran ubicados cerca de la falla sísmica las cuales se convierten en zonas de riesgo.

Como se puede observar en el mapa la cabecera de Acambay y Pueblo Nuevo son las localidades que cuentan con mayor población, también existen otras que se encuentran en las montañas localizadas en zonas de riesgo tales como San Francisco Shaxni, Detiña, Ganzda y San Pedro de los Metates, los cuales están expuestos a procesos gravitacionales y otras localidades como Doxteje, Santa María Tixmadejé, Bochindo, La Caridad se ubican cerca de la falla sísmica lo cual los hace vulnerables ante el fenómeno sísmico (Figura 13).

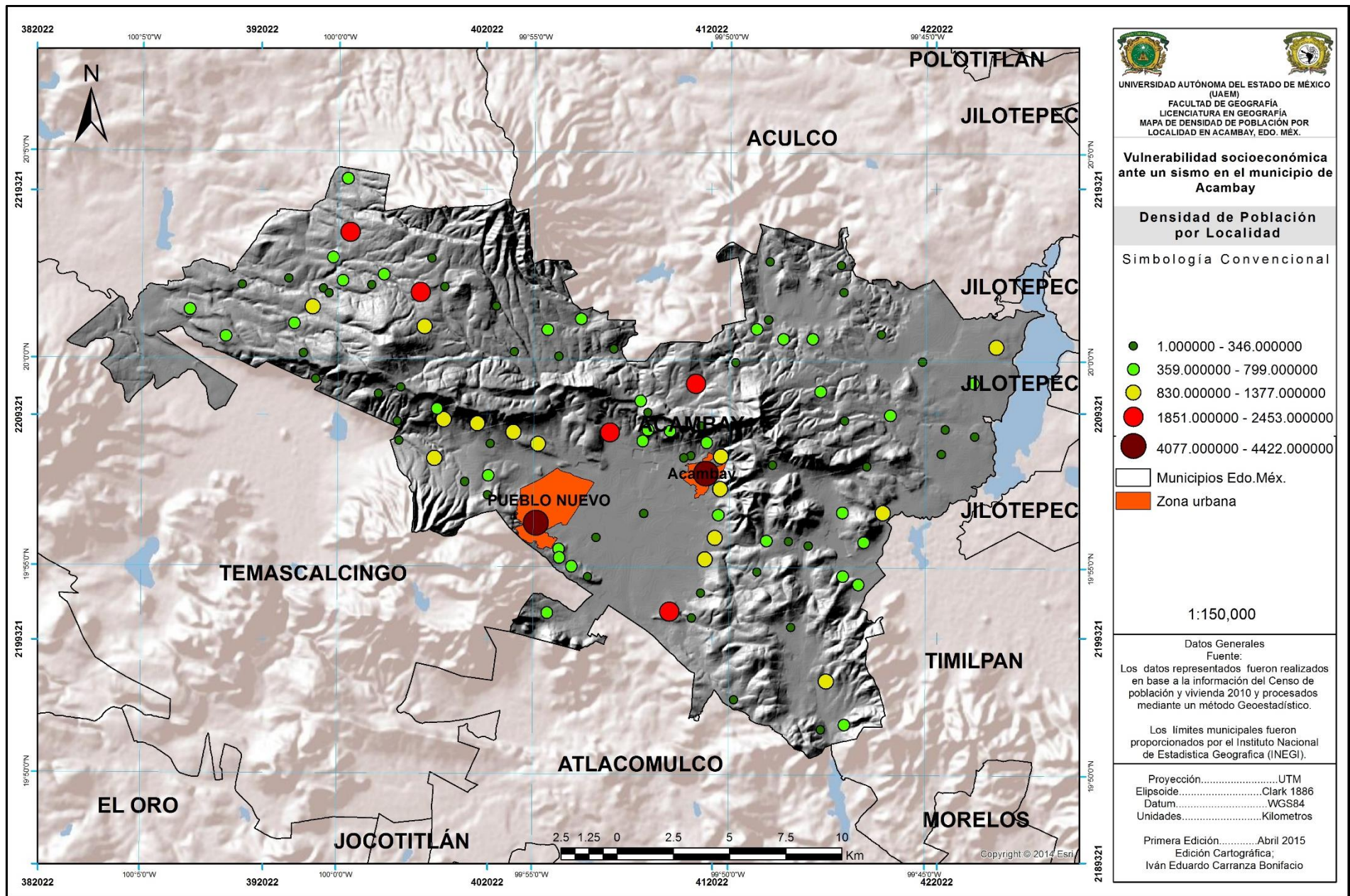


Figura 13. Densidad de población, Fuente: Elaboración propia en base al censo de población y vivienda 2010, INEGI

4.2.5. Escolaridad

La importancia de conocer el nivel educativo de un municipio o localidad radica en que facilita la posibilidad de comunicación y mejora la respuesta de la población en un caso de emergencia. Para el municipio de Acambay, el grado promedio de escolaridad es de 6.85 años, equivalente a haber ingresado a secundaria sin lograr terminar el primer año. Existe un menor nivel educativo en las mujeres que en los hombres, ya que ellas acuden en promedio 6.59 años a la escuela y ellos 7.13 años. La localidad con mayor nivel educativo es la cabecera municipal del mismo nombre, en ella el grado promedio de escolaridad general es de 10.76, que para las mujeres equivale a 10.62 y para hombres a 10.93. La localidad con mayor rezago es San Francisco Shaxni Ejido, donde el promedio general corresponde a 4.23 años, en este caso las mujeres cuentan con 3.95 años en promedio y los hombres estudian 4.58 años.

Por su parte, la población de 15 años y más con secundaria terminada es considerablemente mayor, principalmente para los hombres, que la población analfabeta, como se aprecia en la Gráfica 4.6. El mayor rezago educativo femenino está presente en ambos casos: existen más mujeres analfabetas y menos mujeres con secundaria terminada, pues los hombres tienen mayores grados de escolaridad.

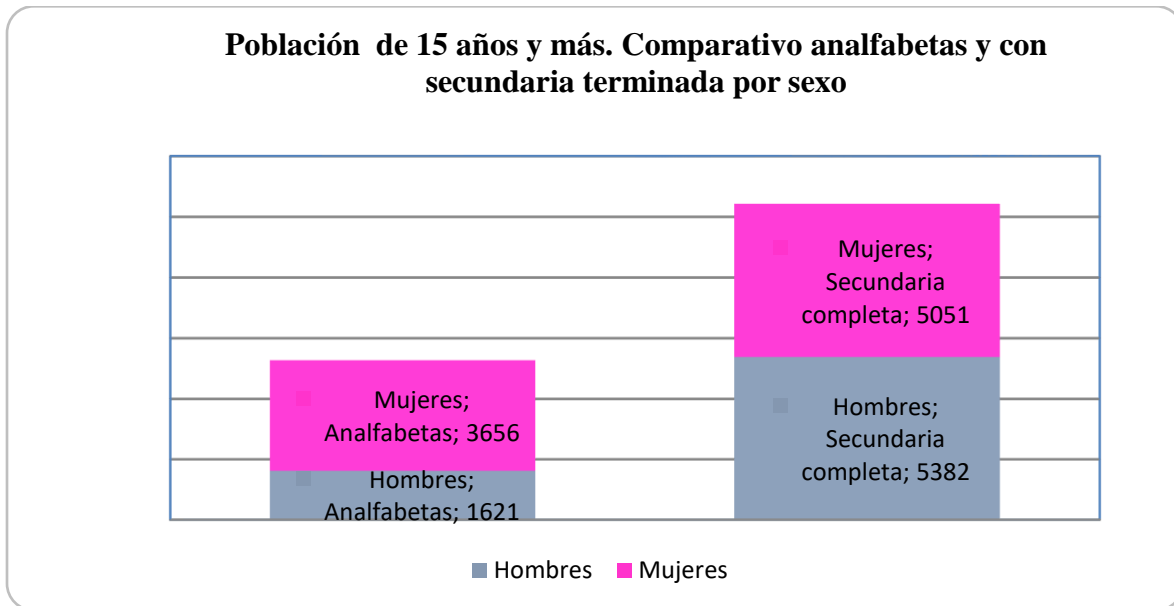


Figura 14, Gráfica de Población de 15 años y más. Fuente: Elaboración propia con el censo de población y vivienda 2010 del INEGI

4.2.6. Población con discapacidad

En el municipio habitan 2,727 personas que tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana, lo que equivale al 4.5% de la población. Las principales limitaciones o discapacidades son las relacionadas con el desplazamiento, facultades visuales y auditivas, todas ellas pueden, potencialmente, aumentar la vulnerabilidad de la población que las padece en caso de desastre. En la siguiente gráfica se muestran todas las limitaciones contabilizadas y la proporción de incidencia con que se presentan.

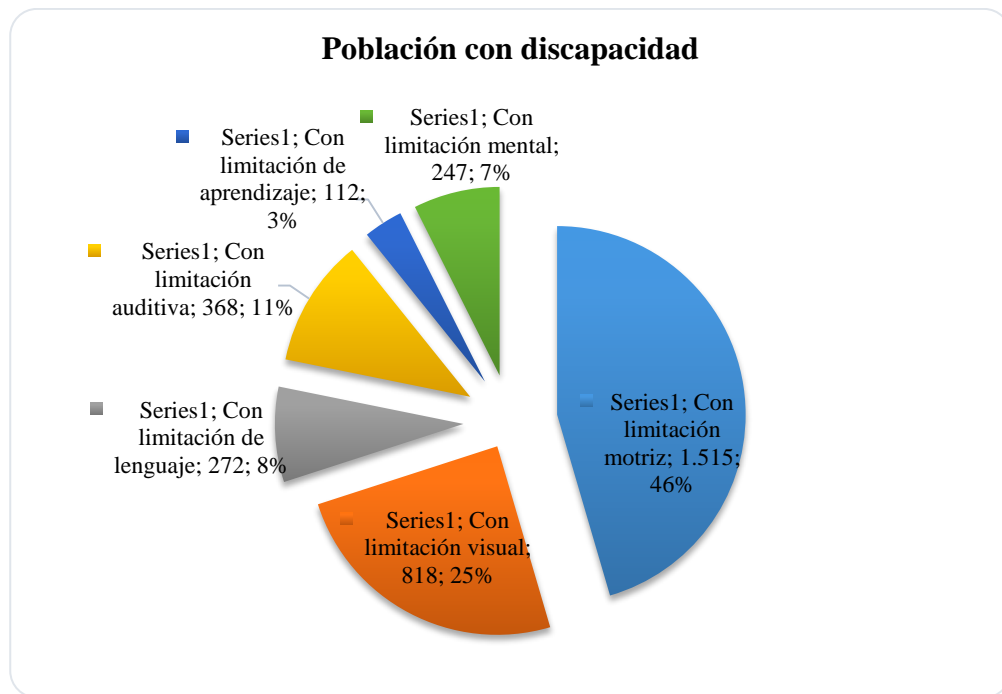


Figura 15, Gráfica de Población con discapacidad. Fuente: Elaboración propia con el censo de población y vivienda 2010 del INEGI

La localidad con mayor número de discapacitados es la cabecera municipal, con 123 por tener al mayor número de habitantes. Destacan, por el contrario, El Fresadero y El Pedregal Tixmadejé, donde no se reportó un solo caso de limitación. La Providencia, Santa María las Arenas y La Cumbre presentan 1 o 2 casos. Es importante resaltar que las localidades con mayor porcentaje de habitantes con limitaciones y por lo tanto, donde será necesaria ayuda focalizada en una situación de desastre son Lo Charcos (23.6%), Gando (17.4%), Los Toriles (15.6%) y Las Mangas (15.2%), todas ellas localidades con menos de

2,500 habitantes. En las localidades consideradas urbanas, el porcentaje es de 3% y 3.3%, respectivamente.

4.2.7. Marginación y vulnerabilidad ante el desastre sísmico

Mediante el cálculo elaborado por el Consejo Nacional de Población (2007), el municipio de Acambay tiene un grado de marginación alto y este responde a factores como el rezago socioeconómico existente en el municipio, la desigualdad en la distribución del ingreso, un fenómeno creciente de subocupación; factores que indiscutiblemente determinan un modo de vida, inserto de alguna manera en la sociedad, pero al margen de los beneficios como la educación, el empleo, la vivienda y la salud.

Nombre de la localidad	P_Total	Viv_Par t_Hab	No_A _E	N_Dre	No_Ene r	Pi_Ti	Viv_O_ S/nSer	Gra_Marg	Estatus*	Ámbito
Boshindo	1153	276	49	64	19	14	46	Alto	Activa	Rural
Conejeras	1028	238	77	118	16	18	105	Alto	Activa	Rural
Ganzda	2433	479	94	346	60	53	284	Alto	Activa	Rural
Pueblo Nuevo	4422	967	918	818	68	129	670	Alto	Activa	Urbano
San Pedro de los Metates	2048	501	10	87	8	26	113	Alto	Activa	Rural
Santa María Tixmadeje	1152	296	20	128	12	14	86	Alto	Activa	Rural
Tixmadeje Chiquito	1377	293	21	114	11	13	92	Alto	Activa	Rural
Dongu Puerto	754	158	53	78	20	14	43	Alto	Activa	Rural
Doxteje Centro	1121	263	44	138	11	20	139	Alto	Activa	Rural
Villa de Acambay de Ruíz Castañeda	4077	1018	24	27	5	18	14	Bajo	Activa	Urbano
La Caridad	1340	315	34	22	11	13	21	Medio	Activa	Rural

Tabla 11. Clasificación de marginación en el municipio de Acambay, Fuente: Consejo Nacional de Población 2007

De las once localidades que se observan en la tabla, la cabecera municipal de Acambay presenta un índice de marginación bajo, ya que cuenta con los servicios necesarios para satisfacer las necesidades de los habitantes ya que es un lugar céntrico y se puede tener acceso a las vías de comunicación de manera rápida, mientras que Pueblo Nuevo presenta un grado de marginación alto ya que no cuenta con los aspectos que deben ser prioritarios para mejorar el bienestar de la comunidad son los servicios dentro de la vivienda como el drenaje, la energía eléctrica y el agua entubada, asimismo, el ingreso mensual percibido. (Figura 16)

Las zonas con menor marginación son aquellas que cuentan con la mayoría de los servicios básicos que satisfacen las necesidades de las personas, tal es el caso de la cabecera municipal de Acambay la cual presenta un grado de marginación bajo ya que es la zona céntrica del municipio, a comparación de la localidad de Pueblo Nuevo que a pesar de ser más grande que la cabecera municipal no cuenta con los servicios básicos por lo tanto su marginación es alta.

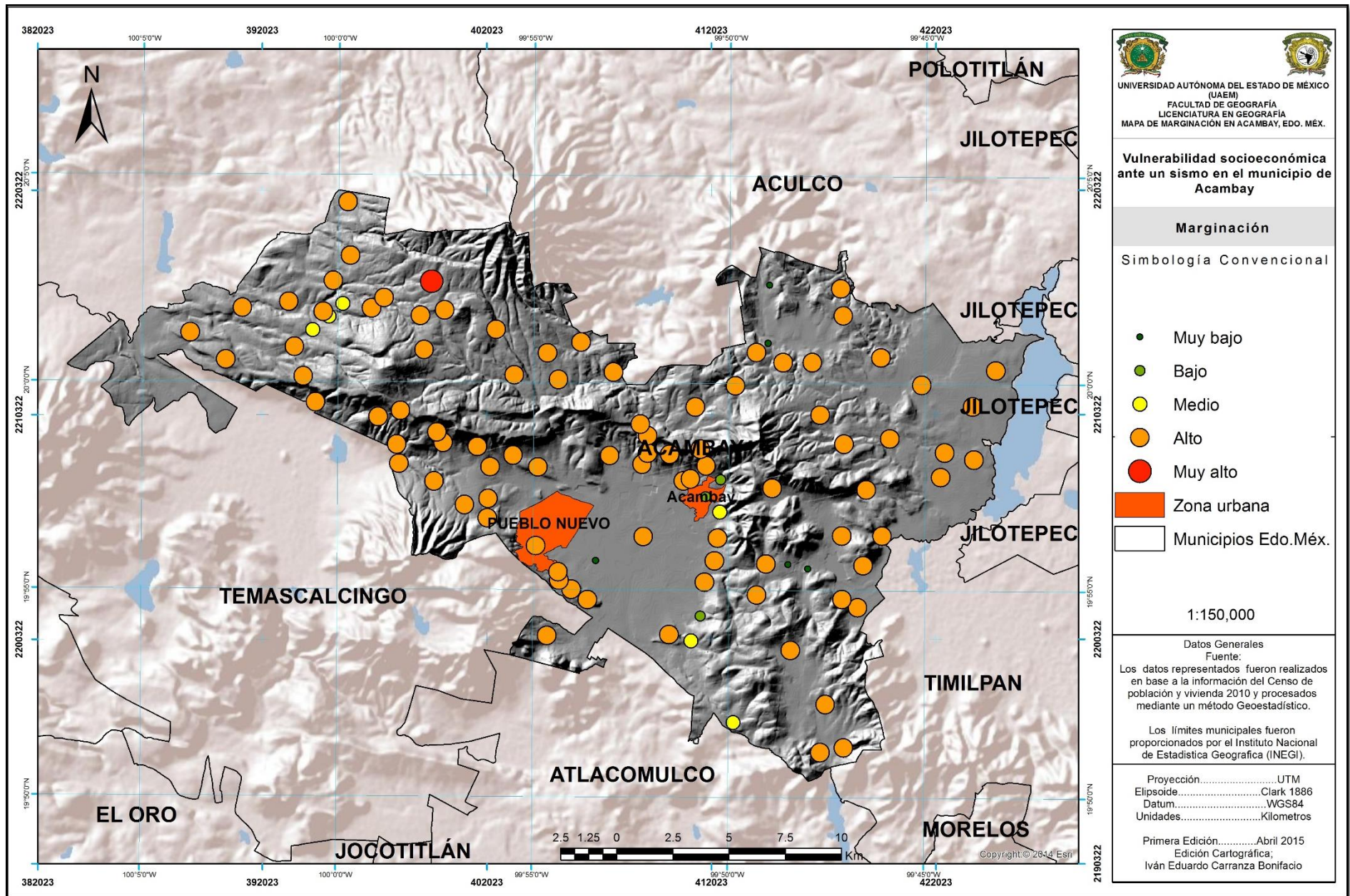


Figura 16. Marginación, Fuente: Elaboración propia en base al censo de población y vivienda 2010, INEGI

4.2.8. Actividad económica primaria

Con base en la información obtenida del INEGI, el municipio de Acambay cuenta con una superficie total de 49,213 hectáreas, de las cuales emplea un 36.4% en actividades agrícolas, cultivando productos como maíz, avena forrajera, frijol, trigo, alfalfa, tomate rojo y tomate verde, entre otros. Sin embargo, destaca el cultivo de maíz por ocupar casi la totalidad del espacio sembrado con un 92% de la superficie.

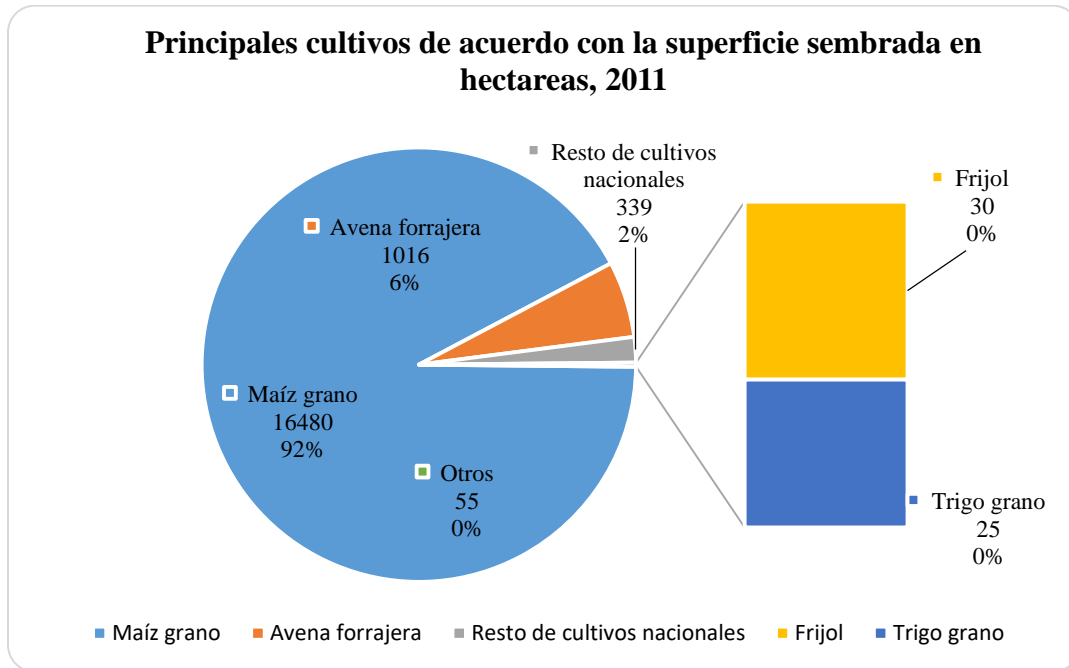


Figura 17, Gráfica de Principales cultivos de acuerdo con la superficie sembrada en hectáreas, 2011. Fuente: Elaboración propia con el censo de población y vivienda 2010 del INEGI

Es importante mencionar que el 80% de la actividad agrícola desarrollada en Acambay es de temporal, con una superficie de 3,571 hectáreas de riego, conforme a cifras del INEGI 2011, por lo que el rendimiento del cultivo se encuentra fuertemente determinado por las inclemencias del tiempo.

En cuanto a la actividad ganadera destaca la producción de carne de bovino en canal, con un 53%, seguida de ovino y gallináceo, con un 17%, y en menor proporción la de porcino, guajolotes y caprino.

4.2.9. Actividad económica secundaria

La actividad industrial en Acambay es diversa, desde la elaboración de prendas de vestir, la fabricación de productos de cuero y piel hasta la industria del plástico y de productos metálicos. El Municipio cuenta con 269 unidades económicas, de acuerdo con el último censo económico del INEGI, siendo la mayoría de ellas pequeñas industrias con un personal ocupado que va de los 2 a los 20 empleados, con excepción de la industria de fabricación de prendas de vestir que es la que más personal emplea

Unidades económicas del municipio de Acambay	
Industrias manufactureras	269
Industria alimentaria	28
Industria de las bebidas y del tabaco	*
Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	*
Fabricación de prendas de vestir	24
Curtido y acabado de cuero y piel y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	67
Industria de la madera	7
Impresión e industrias conexas	3
Industria del plástico y del hule	13
Fabricación de productos metálicos	14
Fabricación de muebles, colchones y persianas	*
Otras industrias manufactureras	108

Tabla 12. Fuente: INEGI, censos económicos 2009, resultados definitivos

4.2.10. Actividad económica terciaria

La actividad comercial en el municipio se desarrolla a través de un mercado público y un tianguis, así como 39 misceláneas y dos recauderías inscritas en el padrón del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM).

La actividad turística de Acambay se desarrolla alrededor de su atractivo natural, del sitio arqueológico de Huamango, de su arquitectura y sus artesanías. Éstas últimas, elaboradas en popotillo, ixtle, lana y algodón, resultan de gran valor turístico, y de la misma forma los metates y molcajetes en piedra negra fabricados en el poblado de San Pedro de los

Metates. Para el desarrollo de dicha actividad, el Municipio cuenta con 65 habitaciones distribuidas en tres hoteles.



Figura 18, Parroquia de San Miguel Acambay

Figura 19, Zona arqueológica otomí de Huamango

4.2.11. Población económicamente activa PEA

El municipio de Acambay cuenta con una población económicamente activa de 19,427 personas, de las cuales 17,388 cuentan con un empleo y 2,039 se encuentran desempleadas, con un tasa de desocupación del 10.5%, de acuerdo con los datos arrojados en el último censo nacional.

Resalta que menos del 50% de la población se encuentra dentro del rubro de económicamente activa y además es llamativa la escasa participación de las mujeres en actividades remuneradas

La población masculina representa el 78% de la población económicamente activa y el 76% de la PEA ocupada, en tanto que la población femenina representa el 22% de la PEA activa y el 24% de la PEA desocupada.

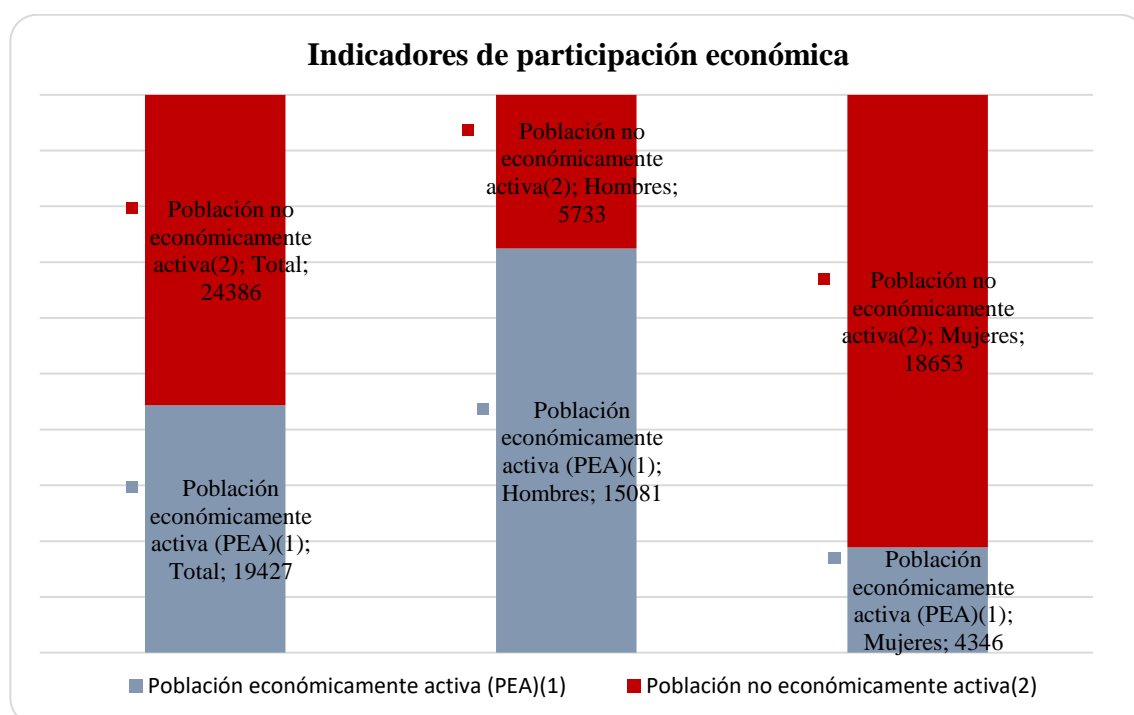


Figura 20, Gráfica de Indicadores de participación económica. Fuente: Elaboración propia con el censo de población y vivienda 2010 del INEGI

4.3. La población demográficamente más vulnerable

La mayor parte de la población adulta (60 años y más) vive en zonas de peligro y riesgo ya que algunas de las localidades se encuentran ubicadas en lugares muy accidentados, otras están localizadas cerca de la falla Acambay-Tixmadejé y unas cuantas se ubican en la parte baja de las montañas. (Figura 21)

La mayor parte de la población adulta se encuentra distribuida en zona centro y oeste del municipio en los poblados que posiblemente sean las primeras localidades, la cabecera municipal y la localidad de Pueblo Nuevo cuentan con mayor población adulta siendo estos los más vulnerables ante algún desastre natural ya que sería un poco complicado trasladar a la gente mayor de 60 años a un lugar seguro.

En cuanto a la población joven (menores de 12 años) se localiza la mayor parte en las partes bajas de las montañas, las localidad de Pueblo Nuevo y Acambay siguen siendo los que cuentan con mayor población en este caso se localiza la población menor de 12 años, uno de los principales factores cuanto a vulnerabilidad.

La población joven sigue en aumento ya que no todos se encuentran ubicados en las dos localidades principales (Acambay y Pueblo Nuevo) si no también se encuentra distribuida en ciertos puntos del municipio, se representa en puntos rojos y marrón las localidades con población de 12 años (Figura 22).

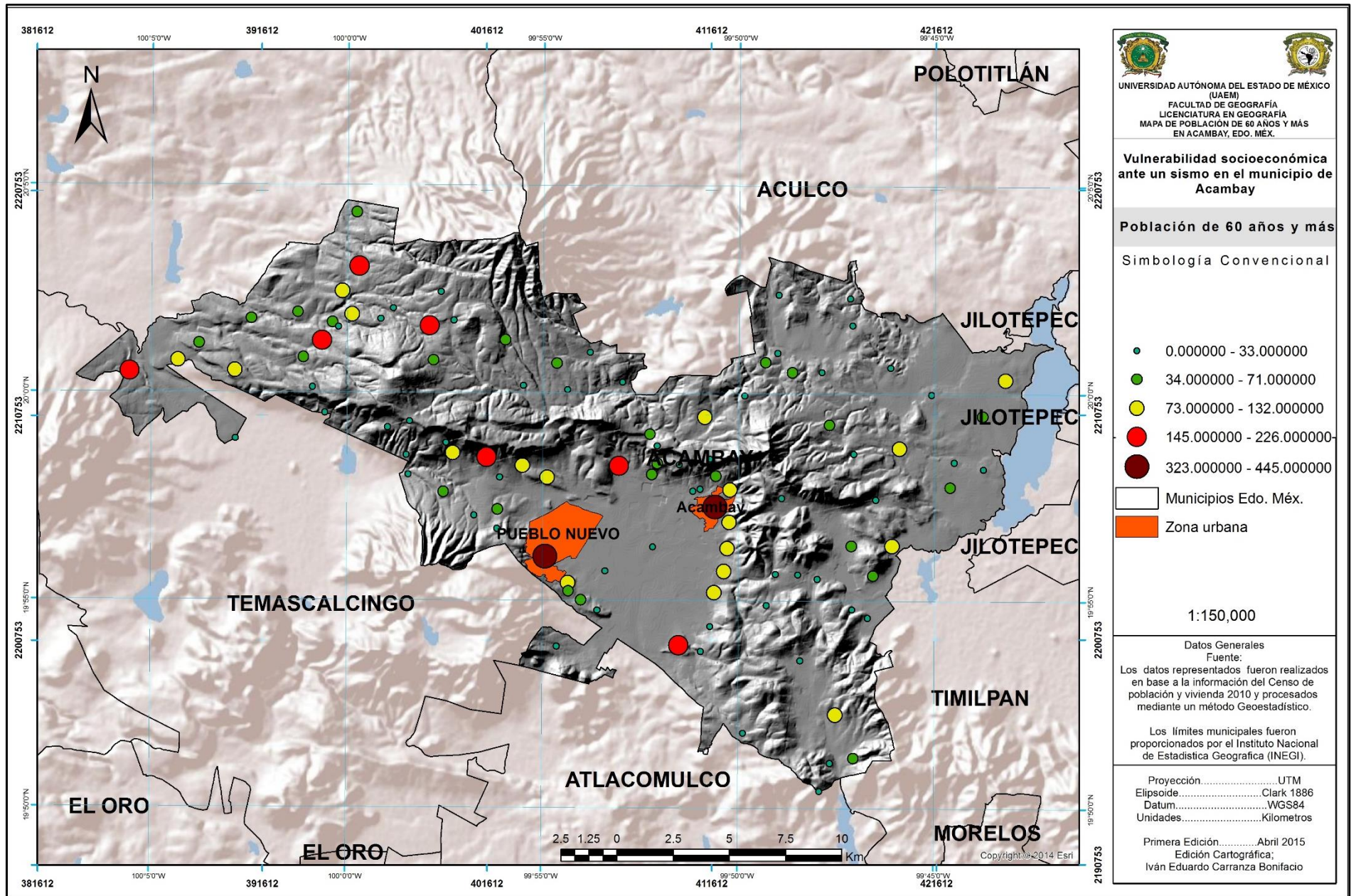
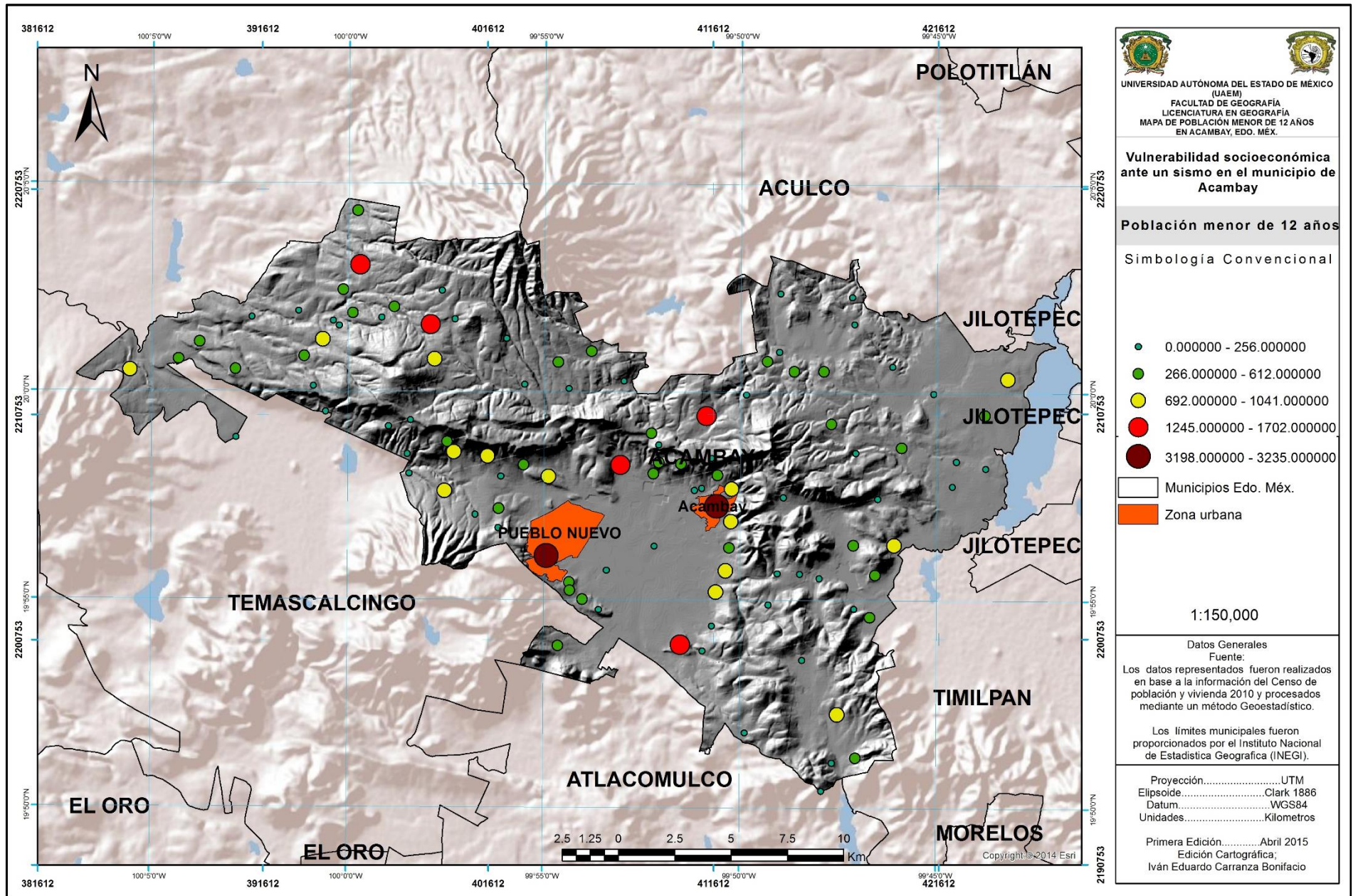


Figura 21. Población 60 años y más, Fuente: Elaboración propia en base al censo de población y vivienda 2010, INEGI



4.4. Aspectos socioeconómicos de la población

Los aspectos socioeconómicos de una población, como el crecimiento poblacional, tipos de vivienda, grado de educación, población activa y las actividades económicas, son indicadores del desarrollo del lugar. Dichos indicadores, no se han encontrado completos 1910 a 1960 y solo se registraban datos de natalidad, mortalidad, estado civil. Su distribución poblacional era muy irregular, considerándose como un municipio rural. (Peña & Vergara, 2004).

A partir de la década de 1970 se considera al municipio como urbano, tomando en cuenta los parámetros de INEGI, debido a la cantidad de población que se ha incrementado década tras década.

Es importante considerar que no solo ha crecido numéricamente la población, sino también se han ido asentando cerca y sobre la falla, como es el caso de la parte norte de la cabecera municipal de Acambay y todo lo que se refiere a la comunidad de Tixmadejé. Es relevante mencionar que parte de la población que vive en la cabecera municipal creen que ellos no serían afectados si ocurriese un sismo y que las personas afectadas son las que se encuentran asentados cerca de la falla, ya que mencionan que se han hundido algunas viviendas y que la carretera cuenta con desniveles lo cual es un peligro para la población que circula día con día.

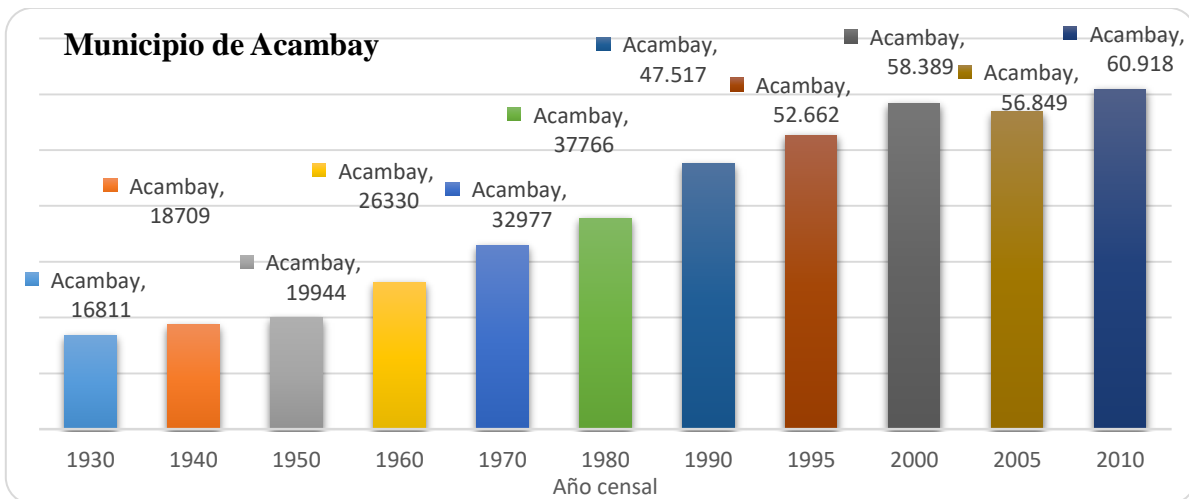


Figura 23, Grafica. Población total censada a partir de 1930 a 2010, Fuente: Censo de población y vivienda de 1930 a 2010, INEGI

Las construcciones también son un factor importante ya que de ellas se puede establecer un tipo de vulnerabilidad ante un desastre, tomando en cuenta que el tipo de construcción del lugar consistía en 1910 a 1920 de adobe en paredes y muros en su mayoría mal contruidos. En menor escala existían edificaciones de ladrillo y tabique que se encontraba en los pueblos vecinos. (González & Contreras, 2001)

La predominancia de material para las viviendas en la actualidad son de block con acabados de albañilería, es poco difícil encontrar viviendas de adobe (aún existen) en el municipio, dándonos una idea de las características de infraestructura del lugar.

5. Peligro sísmico

Al hablar del peligro sísmico como el rompimiento más o menos extenso de un bloque litosférico, lo que en otras palabras sería la activación de una falla geológica, que de producirse, ha de generar diversos efectos en un espacio y tiempo determinado, así como en diversas intensidades. Dichos efectos pueden presentarse y observarse de desde una manera simple, con la vibración del suelo, hasta el desencadenamiento de procesos peligrosos más complejos (Garatachia, 2013). Queda claro que la peligrosidad sísmica es variante de acuerdo a la región donde esta se presente y a las condiciones físicas de los lugares.

En la actualidad los estudios de riesgo sísmico tanto en el ámbito del territorio y de las estructuras, son escasos. En México, debido a la extensión y complejidad del territorio, no son numerosos los estudios emprendidos sobre este tema y mucho menos aún, sobre las velocidades y tendencias de los movimientos tectónicos verticales recientes de la corteza terrestre, mediante el empleo de la información de los registros geodésicos sobre el control vertical del país (Garatachia, 2013).

De acuerdo a la disponibilidad de datos específicos y de alcance que permitan llegar a un nivel de detalle muy específico, se decidió utilizar trabajos geodésicos ya existentes para el área de estudio, los cuales constituyen la región sísmica de Acambay y donde trataremos sobre la peligrosidad sísmica del mismo.

Una de las unidades geotectónicas, geomorfológicas y geodinámicas más interesantes y estudiadas del territorio mexicano, lo constituye el Sistema Volcánico Transmexicano Central, el cual se extiende, con dirección oeste-noroeste a este-sureste, desde las costas del Océano Pacífico hasta el Golfo de México. Según diversos autores (Nixon, 1982; Ponce *et al.*, 1992; Pardo y Suárez, 1993; Norini *et al.*, 2010), se trata de un arco volcánico continental activo, como resultado del mecanismo de subducción de las placas Cocos y Rivera, bajo la placa Norteamericana. La actividad tectónica, volcánica y sísmica de este cinturón comenzó a partir del Mioceno superior (Ferrari, 2000), aunque Garduño *et al.* (2009) consideran que el sistema de fallas longitudinales surgió en el Mioceno temprano.

Estas regiones han sido investigadas de manera diferenciada, predominando gran parte de los estudios en la parte central, donde se extienden las depresiones de tipo graben de Cuitzeo y de Acambay. Esta última estructura presenta unas dimensiones de 80 km de largo por 15 a 30 km de ancho y se encuentra limitada por cuatro fallas normales notables (Persaud *et al.*, 2006; Roldán-Quintana *et al.*, 2011): Epitacio Huerta y Acambay-Tixmadejé, al norte, y Venta de Bravo y Pastores, al sur, todas con actividad tectónica y sísmica actual. Según Suter *et al.* (1992, 1995b) y García-Palomo *et al.* (2000), estas depresiones centrales están delimitadas por una red principal de fallas normales, a menudo dispuestas en dirección WNW-ESE a W-E, de desplazamiento lateral-derecho en sistemas escalonados con estructuras de tracción, por ejemplo, las fallas Venta de Bravo, Pastores y Tenango.

Como ya se ha mencionado, la parte central de la región mexicana está conformada por un complejo de sistemas de fallas, fosas tectónicas y pilares, y manifestaciones volcánicas (estratovolcanes, campos monogenéticos y coladas fisúrales), que atraviesan al Cinturón Volcánico Transversal (Figura 24). En este contexto y de manera particular, encontramos el sistema que constituye a la región de Acambay, en el estado de México, la cual ha mostrado evidencia de actividad sismogeneradora desde hace casi un siglo hasta el tiempo presente. De acuerdo con lo anterior y basados en el análisis geomorfológico y las mediciones geodésicas, “se muestra la dinámica que presentan estas morfoestructuras en un estudio comparativo multitemporal (1998/2003 al 2011). Donde las velocidades de los movimientos tectónicos verticales recientes reflejaron valores de ascenso, que oscilan entre + 7,3 a + 12,8 mm/año, en el horst septentrional Santa María Tixmadejé, mientras que en el graben central

de Acambay los ascensos son muy débiles, del orden de $+0.4$ a $+0.5$ mm/año". (Espinosa y Hernández, 2014).

De acuerdo a los movimientos del horts y los ascensos en el graben de Acambay se toma en cuenta que esta región puede generar un evento sísmico en cualquier momento, ya que en el documento de (Langridge, 2000) muestra que la actividad sísmica tiene una recurrencia cada 3600 años, aunque esto no estipula que la falla libere energía provocando un sismo y generando así un desastre en la cabecera municipal, el cual es el poblado que se encuentra cerca de esta falla tectónica.

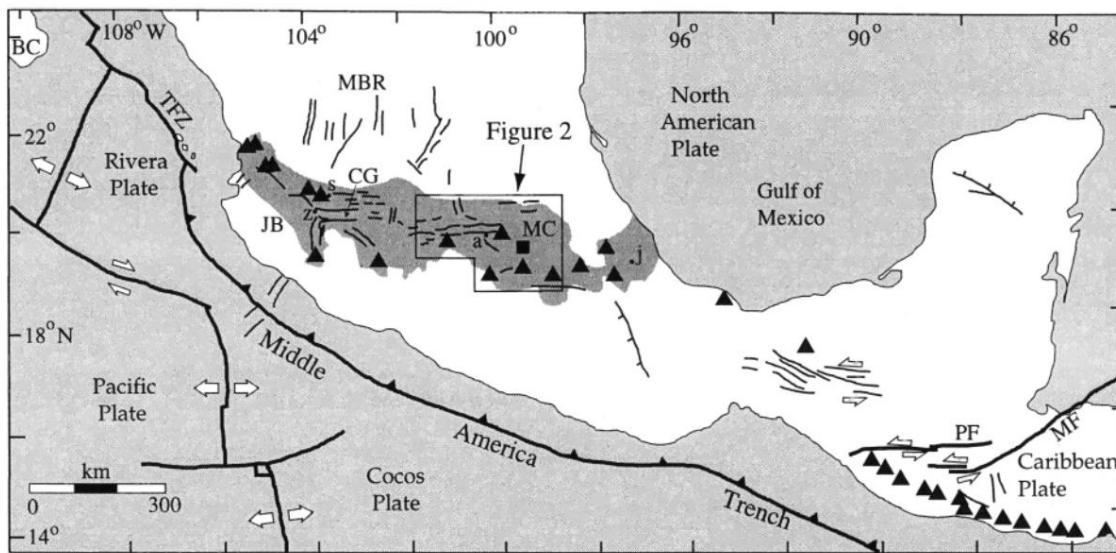


Figura 24. Complejo sistema de fallas, fosas tectónicas y pilares, y manifestaciones volcánicas que atraviesan al Cinturón Volcánico Transversal. Fuente: (Langridge, 2000)

La falla de Acambay-Tixmadejé presenta escarpes que forman el bloque levantado, alcanzando alturas de 400 m con respecto a la parte central del graben. El plano de falla presenta echados de 60° y 70° hacia el sur (Quintero-Legorreta, 2002). Dentro del graben de Acambay, en su porción oriental, se han identificado dos edificios volcánicos de dimensiones importantes: el volcán Temascalcingo y el volcán Altamirano (Aguirre-Díaz, 1996).

La sismicidad y la formación de sismodislocaciones en las referidas fallas regionales han sido sostenidas desde fines del Terciario hasta el Holoceno, incluyendo su etapa más reciente. Algunos autores sostienen, que el borde norte del semigraben presenta mayor actividad sismotectónica (Sutter *et al.*, 2001) y significativas deformaciones tectónicas de su

relieve (Ramírez-Herrera, 1998). Pasquare *et al.* (1991) y Sutter *et al.* (1992) argumentan la juventud de los desplazamientos tectónicos, a lo largo del sistema de fallas Chapala-Tula, al cual pertenece el semigraben de Acambay, donde la sismicidad histórica y los movimientos cuaternarios de algunas fallas, han deformado depósitos lacustres y rocas volcánicas plioceno-cuaternarias.

La región de Acambay se destaca por su gran actividad sísmica durante el Neógeno y el Cuaternario la cual es la historia sísmica de este municipio, aunque no hay que dejar de lado su carácter morfoestructural ya que en el presente se sugiere que existe una elevada inestabilidad tectónica reciente y una notable actividad sismogeneradora, del tipo intra-placa, a lo largo de la falla Acambay-Tixmadejé y otras del sistema Chapala-Tula. (Espinosa & Hernández, 2014).

Esta cinemática de las fallas que definen el semigraben de Acambay, atestigua la posibilidad de sismos con magnitud mayor a 7 grados Richter (Suter *et al.*, 1995a). En los registros sismoestadísticos históricos aparecen dos eventos significativos, el terremoto de Acambay, del 19 de noviembre de 1912, con $M_s=7,0$, y el de Maravatío, del 22 de febrero de 1979, con $M_s=4,9$ (Astiz, 1980).

Durante el período de 1912 un movimiento sísmico de magnitud de 7 grados en escala de Richter, el cual manifestó su epicentro cerca del municipio provocando la muerte de personas y daños considerables a la infraestructura. Los mayores efectos del movimiento se encontraron en la porción septentrional del graben, afectando a poblaciones como Temascalcingo, San Pedro El Alto, Venta San Lucas y San Andrés Timilpan, situadas en la parte central del graben de Acambay y, por último, las que se ubican en la porción meridional; mientras que como efectos secundarios, localidades como Santa María Tixmadejé, Dongú y San Pedro Potla, experimentaron el desprendimiento y caída de bloques provenientes de los escarpes de la falla (Urbina y Camacho, 1913).

Durante las últimas décadas se han realizado trabajos geodésicos y uso de tecnología como GPS de alta precisión, los cuales permitieron revelar y evaluar la dirección, velocidad y tendencias de los movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre, tanto verticales

como horizontales. Para entender con mayor claridad, se explicara el uso y resultado de estos trabajos geodésicos, el cual permitirá evaluar la peligrosidad sísmica.

Los métodos geodésicos constituyeron la base cuantitativa para la comparación multitemporal obteniendo cinco signos geodésicos de primer orden dentro del municipio de Acambay y de ambos lados de la falla Acambay-Tixmadejé, ocupando sectores del graben donde se localizaron dos signos (01 y 02) y del horst septentrional Santa María Tixmadejé ubicando tres signos (03, 04 y 05), esto al norte de la falla. (Figura 25).

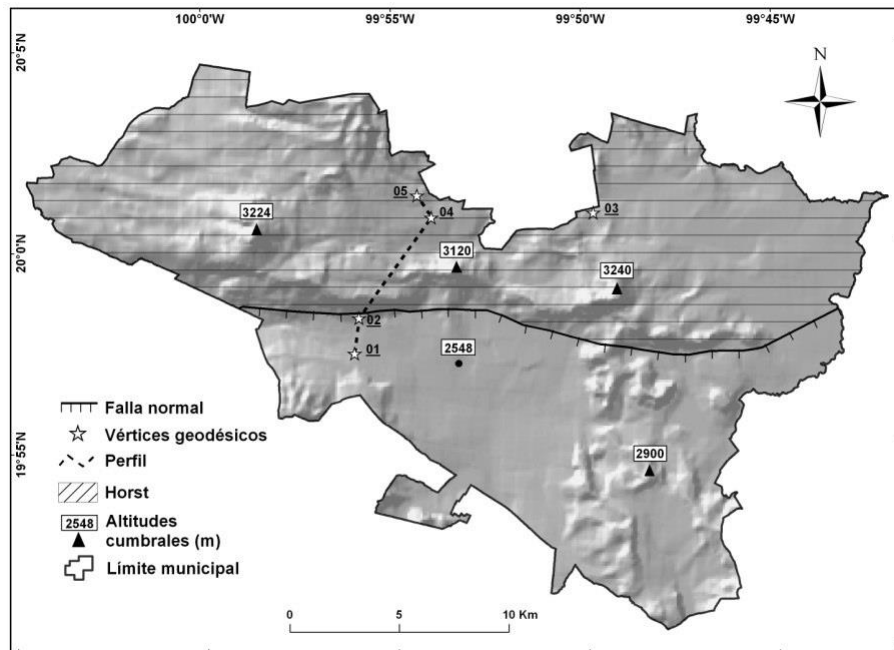


Figura 25. Localización de los signos geodésicos, y perfil morfoestructural y de las velocidades de los movimientos tectónicos verticales recientes en el contexto del sistema horst de Santa María Tixmadejé - graben de Acambay. Fuente: (Espinosa & Hernández, 2014)

5.1.1. Movimientos tectónicos horizontales recientes

En el análisis de los desplazamientos horizontales, se tomaron los diferenciales en las coordenadas (x, y) correspondientes a la longitud oeste y la latitud norte respectivamente, de cada signo geodésico, según la posición de éstos en cada una de las dos morfoestructuras (Tabla 13). En la valoración de la cinemática horizontal del semihorst septentrional, se utilizaron los signos 07, 11 y 12, los que arrojaron entre - 21,2 y - 30,3 mm/año en sus valores extremos, reflejando el carácter lateral derecho de los desplazamientos horizontales, lo que coincide con los criterios estructuro-geológicos de Sutter *et al.* (1995b) y García-Palomo *et*

al. (2000). En el caso del semigraben de Acambay, situado al sur del bloque elevado septentrional, los signos geodésicos 15 al 18 reportaron valores, que oscilan entre + 40,8 y + 84,8 mm/año, indicando el desplazamiento hacia el oeste y reflejando el carácter lateral derecho del mismo.

Número del signo (en el mapa)	Número de placa	Altitud (z) en el año 1998(en m)	Altitud (z') en el año 2011(en m)	Diferencia altimétrica (en m)	Número de años entre mediciones	Velocidad de los movimientos tectónicos verticales recientes (m/año)
Signos geodésicos ubicados en el semihorst septentrional a la falla de Acambay-Tixmadejé						
07	15001011	2712.115	2713.069	+ 0.0954	13	+ 0.0073
11	15001043	2807.390	2807.549	+ 0.159	13	+ 0.0122
12	15001044	2760.083	2760.249	+ 0.166	13	+ 0.0128
Signos geodésicos ubicados en el semigraben central de Acambay						
03	15001088	2,574.089	2,574.093	+ 0.004	8	+ 0.0005
04	15001089	2,658.497	2,658.500	+ 0.003	8	+ 0.0004
05	15001033	2,500.958	2,500.726	- 0.232	8	- 0.029
16	15001033	2500.958	2499.988	- 0.970	17	- 0.0570

Tabla 13. Magnitud de los movimientos tectónicos verticales recientes en el semihorst septentrional y en el semigraben central de Acambay.

“De esta manera, se comprueba por datos instrumentales, la mayor actividad tectónica en el horst San María Tixmadejé, como señalara Suter et al. (2001) por datos geólogo-tectónicos, así como la cinemática en el sistema de horst-graben, en el cual Pasquare et al. (1991), Sutter et al. (1992) y Langride et al. (2000) indican deformaciones tectónicas en depósitos plioceno-cuaternarios y en el relieve, según indicadores geomorfológicos (Ramírez-Herrera, 1998).” (Espinosa & Hernández, 2014).

Como conclusión tenemos que el empleo de métodos geodésicos e instrumentos de alta precisión como los Gps, permitieron revelar y evaluar cuantitativamente las correlaciones entre los movimientos tectónicos verticales recientes (1998-2003 a 2011) y la diferenciación morfoestructural del relieve del sector oriental del sistema de horst y graben,

determinado por la falla sismo activa Acambay-Tixmadejé, en el estado de México. Singular interés representa la aplicación de esta metodología geodésica para morfoestructuras regionales y locales en México, y en especial, en la región de Acambay, donde existen regímenes neotectónico y sismotectónico activos, notables deformaciones endógenas y exógenas de los morfoelementos del relieve y evidentes desplazamientos horizontales y verticales de sus estructuras. (Espinosa & Hernández, 2014).

El resultado de esta evaluación demuestran que las velocidades de los movimientos tectónicos verticales recientes reflejaron la tendencia neotectónica de las estructuras de horst y graben de Acambay además de que revelaron los valores de ascenso los cuales oscilan entre + 7,3 a + 12,8 mm/año, en el horst septentrional Santa María Tixmadejé, mientras que en el graben central de Acambay, los ascensos son muy débiles, del orden de + 0,4 a + 0,5 mm/año.

Ambas morfoestructuras reflejan desplazamientos hacia el norte, con magnitudes de + 36,9 a + 132,6 mm/año, en el semihorst septentrional, mientras que el semigraben oscilan entre + 84,7 y + 87,9 mm/año. Llama la atención, la diferenciación de los desplazamientos entre el sector occidental y el oriental del bloque elevado septentrional, lo que debe estudiarse con más detenimiento en el futuro.

6. Análisis de la vulnerabilidad y evaluación ante el riesgo sísmico

La vulnerabilidad en el área en estudio, fue realizada asumiendo su íntima relación con el nivel socioeconómico y las condiciones de vida de la población. Se definieron para ello 5 indicadores: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingresos y Población, ya que éstos influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y de desarrollo de los individuos y de la sociedad en general, todos referidos al censo de población y vivienda 2010. Los municipios son clasificados por este estudio en cinco niveles de vulnerabilidad socioeconómica: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

6.1. Análisis de la zona urbana de Acambay (Cabecera Municipal)

De acuerdo con la metodología planteada, una de las variables es el de **salud**, ya que de ella se conoce la accesibilidad de la población a los servicios básicos de salud, así como

la capacidad de atención de los mismos. Ahora bien en la zona urbana de Acambay existen, 9 médicos, 3 técnicos en atención primaria y 7 enfermeras. Por lo tanto la vulnerabilidad es media a pesar de que es muy poca la población que no cuenta con este servicio.

La insuficiencia de servicios de salud reflejará directamente parte de la vulnerabilidad de la población ya que este es un indicador importante cuanto a la capacidad de reacción de las personas de la comunidad.

Rubro: Salud			
Indicador	Valor para la zona urbana	Condición de vulnerabilidad	Calificación promedio
Médicos por cada 100 habitantes	0.61%	Media	0.412
Porcentaje de población no derechohabiente	24.81 %	Muy Baja	

Tabla 14. Variable de salud, Fuente: Metodología CENAPRED

La ubicación de los centros médicos permite considerar posibles infraestructuras a ser afectadas ante un desastre sísmico, de las cuales son estructuras que brindan un servicio de asistencia a la población, su colapso o afectación incrementaría la vulnerabilidad de la población que pertenece a la cabecera municipal y al municipio.

La red de salud en el municipio está conformado por:

NP	Descripción	Observaciones
1	21 ISEM	En operación
2	1 SDIFEM	En Operación
3	2 ISSEMYM	Uno en la cabecera municipal y otro en la localidad de la Loma

Tabla 15. Infraestructura de salud, Fuente: Secretaría de salud

Para visualizar de mejor manera el sector salud, solo se representara la zona urbana como lo es la cabecera de Acambay ya que en ella existe la mayor concentración de la población (Figura 10 y 11).

Ahora bien, cerca del 24.81% de la población no cuenta con algún servicio de salud (IMSS, ISSTE, Seguro popular,) esto significa que en caso de algún desastre natural (sismo) la población no derechohabiente se encontrara más vulnerable ya que son los que tardan en ser atendidos por un médico, dado que las circunstancias no les es del todo favorable por que el número de médicos por habitante es de 0.61 obteniendo así una condición de vulnerabilidad **Media**. (Figura 26).

Para la población no derechohabiente que es el 24.81% de la población, no es de alguna manera significativo ya que el 75.19% de la población cuenta con algún servicio de salud permitiéndole a esta una rápida capacidad de respuesta ante un fenómeno natural (sismo) obteniendo así una condición de vulnerabilidad **Muy bajo** (Figura 27). La duda es que la cabecera municipal cuenta con 6 centros de atención médica y no se sabe si estos centros sean capaces de atender a la población afectada.

La vulnerabilidad del rubro de salud está determinado por un valor promedio a partir de los indicadores de médicos por cada 100 habitantes con una valor de 0.61% determinando una vulnerabilidad media, el segundo indicador es el de porcentaje de la población no derechohabiente con un valor de 24.81 % con una vulnerabilidad muy baja, obteniendo así un promedio de **0.412** para este rubro. (Tabla 14).

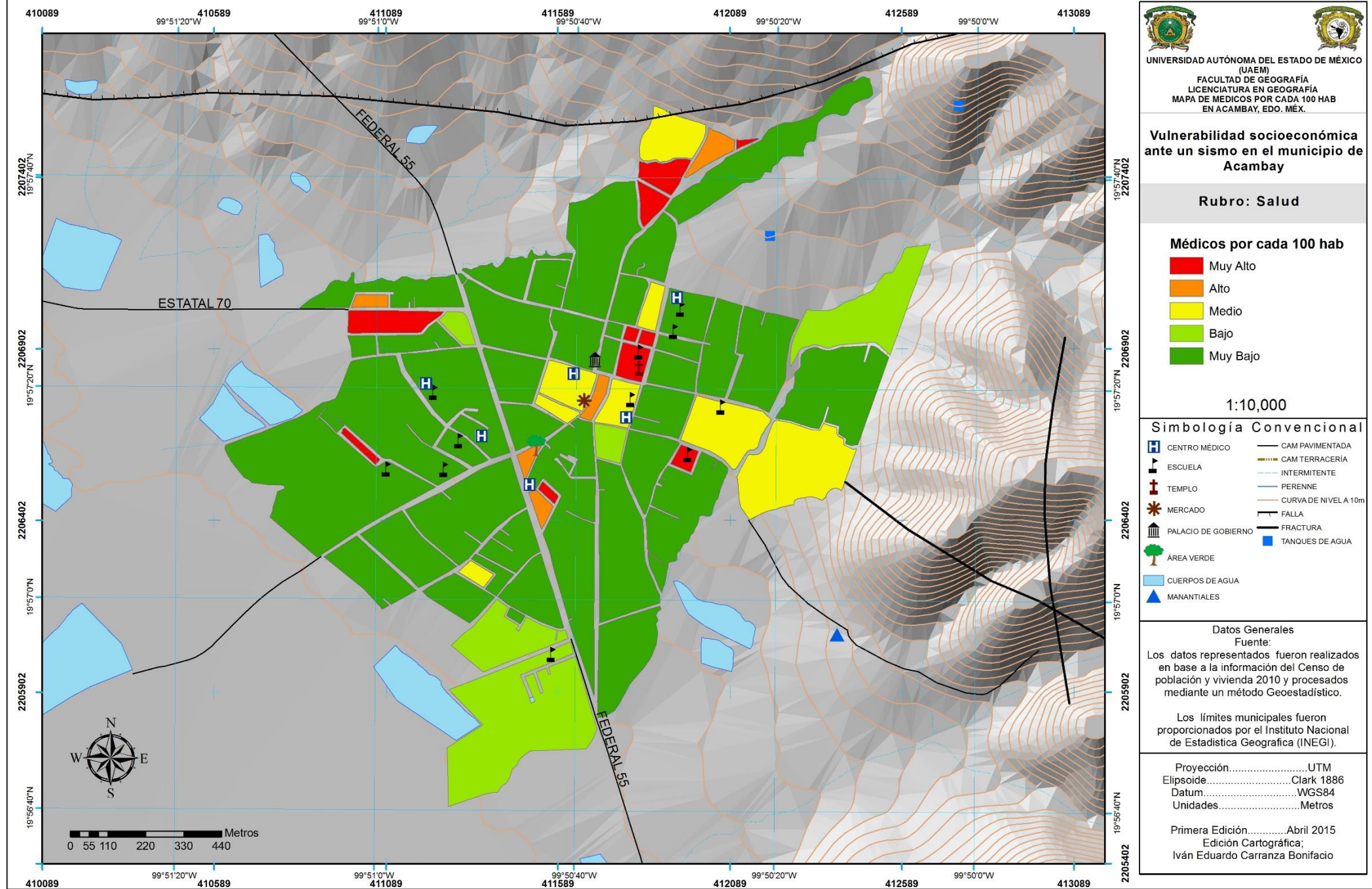


Figura 26. Médicos por cada 100 hab, Fuente: Elaboración propia

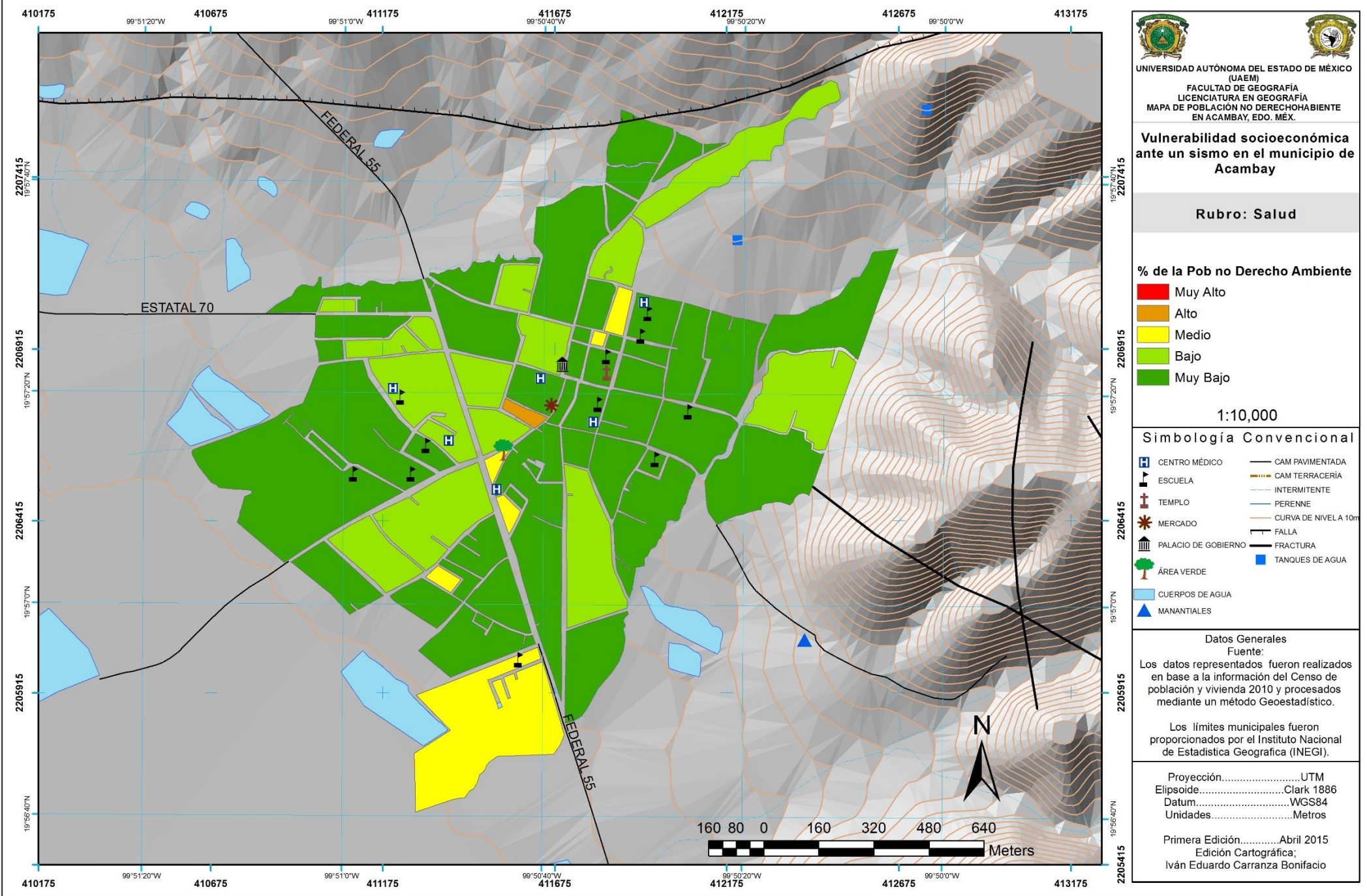


Figura 27. % de la Población no derechohabiente, Fuente: Elaboración propia

Cuanto a la variable de **educación**, el nivel académico de la población influirá directamente en la adopción de actitudes y conductas preventivas y de autoprotección de la población, así mismo, pueden mejorar sus conocimientos sobre fenómenos y riesgos. De acuerdo a los valores obtenidos la mayoría de las personas cuenta con el nivel de estudios básicos, un dato es que la población joven cuenta con estudios del nivel medio superior y estos aspiran llegar al nivel superior de lo cual se establece que es una población que puede afrontar un desastre (en este caso un sismo).

Rubro: Educación			
Indicador	Valor para la zona urbana	Condición de vulnerabilidad	Calificación promedio
Porcentaje de analfabetismo	1.94	Muy Baja	0.190
Demanda de educación básica	65.41	Alta	
Grado promedio de escolaridad	8.1	Baja	

Tabla 16. Variable de educación, Fuente: Metodología CENAPRED

En el municipio de Acambay, en especial la cabecera municipal cuenta con escuelas primarias destacando la Escuela Primaria "Manuel Ávila Camacho" y "Alfredo del Mazo Veléz". Las escuelas secundarias en la cabecera municipal de mayor prestigio son la secundaria oficial "Ignacio Manuel Altamirano", secundaria federal "Justo Sierra Méndez" y la escuela secundaria Técnica No. 10 "Guillermo González Camarena" aunque en cada población perteneciente al municipio se cuenta con diversas secundarias.

Además de las primaria y secundarias también existen preparatorias oficiales y bachilleratos pero los presentes cubren razonablemente la demanda de educación a este nivel. Se destacan la Preparatoria Oficial No. 109, el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario, el Bachillerato Tecnológico en Enfermería General "Dr. Maximiliano Ruíz Castañeda" y algunas más en sus comunidades.

El municipio cuenta con 3 universidades con las siguientes licenciaturas cada una de ellas: Universidad Pedagógica Nacional No. 151 Toluca, Subsede Acambay, con la Licenciatura en Pedagogía y Maestría; Universidad INACE con las licenciaturas en

Pedagogía, Administración, Derecho, Contaduría Pública y Psicología Educativa, cuenta también con Maestrías y Doctorados y la recién inaugurada Universidad Mexiquense del Bicentenario Unidad Acambay que cuenta con Licenciatura en Informática y Licenciatura en Ingeniería Mecánica, así como Maestría en Administración Pública.

En cuanto a los indicadores referentes a la educación (tabla 16) resalta el 1.94% de la población es analfabeta, esto nos señala que además de las limitaciones directas que implica la carencia de habilidades para leer y escribir, muestra la preparación de los jóvenes cuanto al desarrollo educativo. Por lo tanto el porcentaje de analfabetismo es **Muy Bajo**. (Figura 28).

Sin embargo, las nuevas generaciones ya se comienza a dar una mayor cobertura educativa ya que de la población de 6 a 14 años, el 61.41% asiste a la escuela. Debido a lo anterior se le considero que es **Alta** referente a la población entre 6 a 14 años que no asiste a la escuela. En el mapa (Figura 29) de DEB (Demanda de Educación Básica) el valor alto está representado en color verde el cual abarca cerca del 90% de la cabecera.

Finalmente el grado promedio de escolaridad de la población es de 8.21 años lo que significa que la mayoría tiene educación básica con aspiraciones a nivel medio superior y superior con una clasificación de **Baja**. En total el valor promedio en el rubro de educación es de **0.190**, esta calificación se promediara al final para obtener un valor final donde se determinara la vulnerabilidad de la cabecera municipal de Acambay.

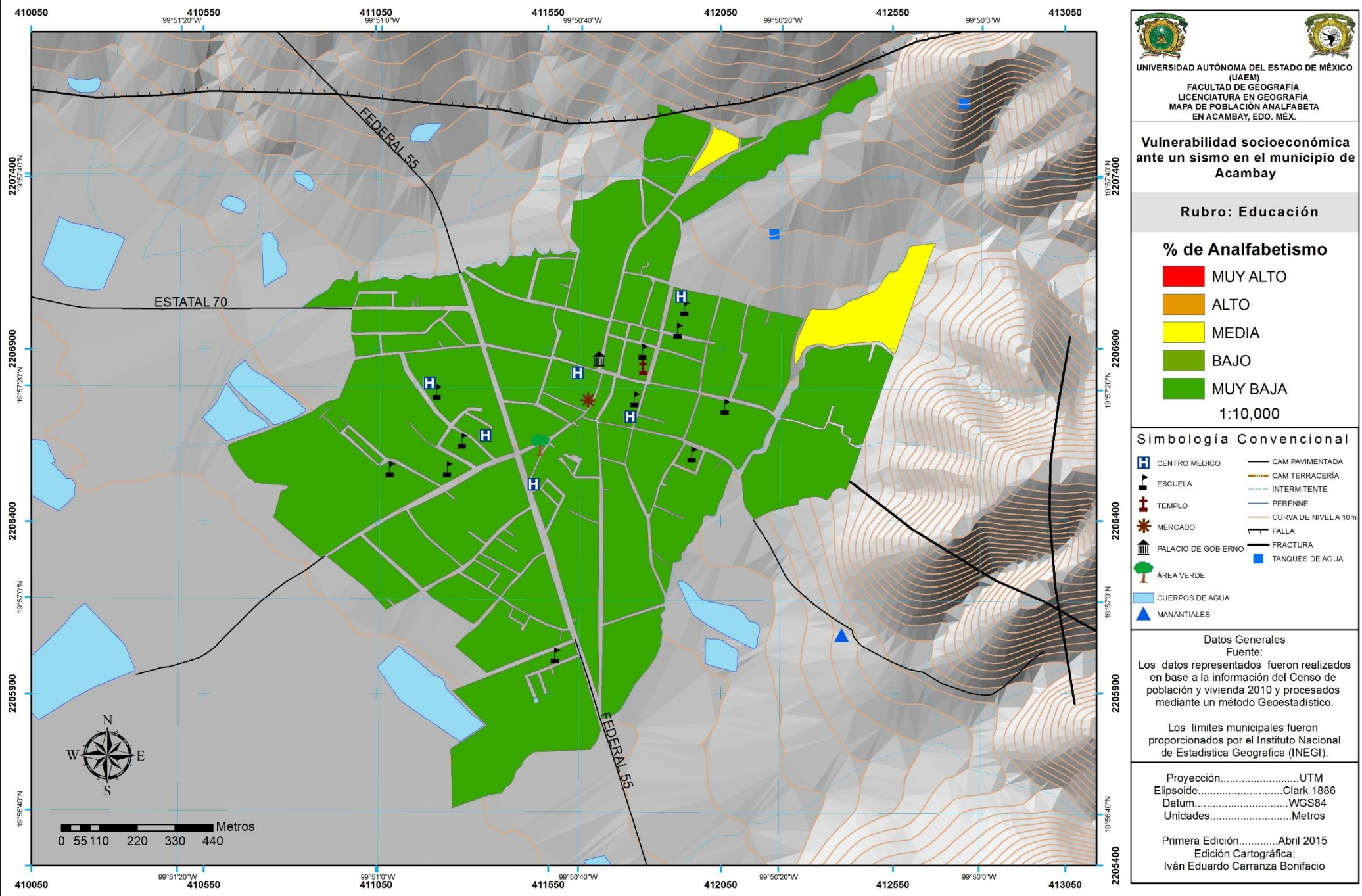


Figura 28. % de Analfabetismo, Fuente: Elaboración propia

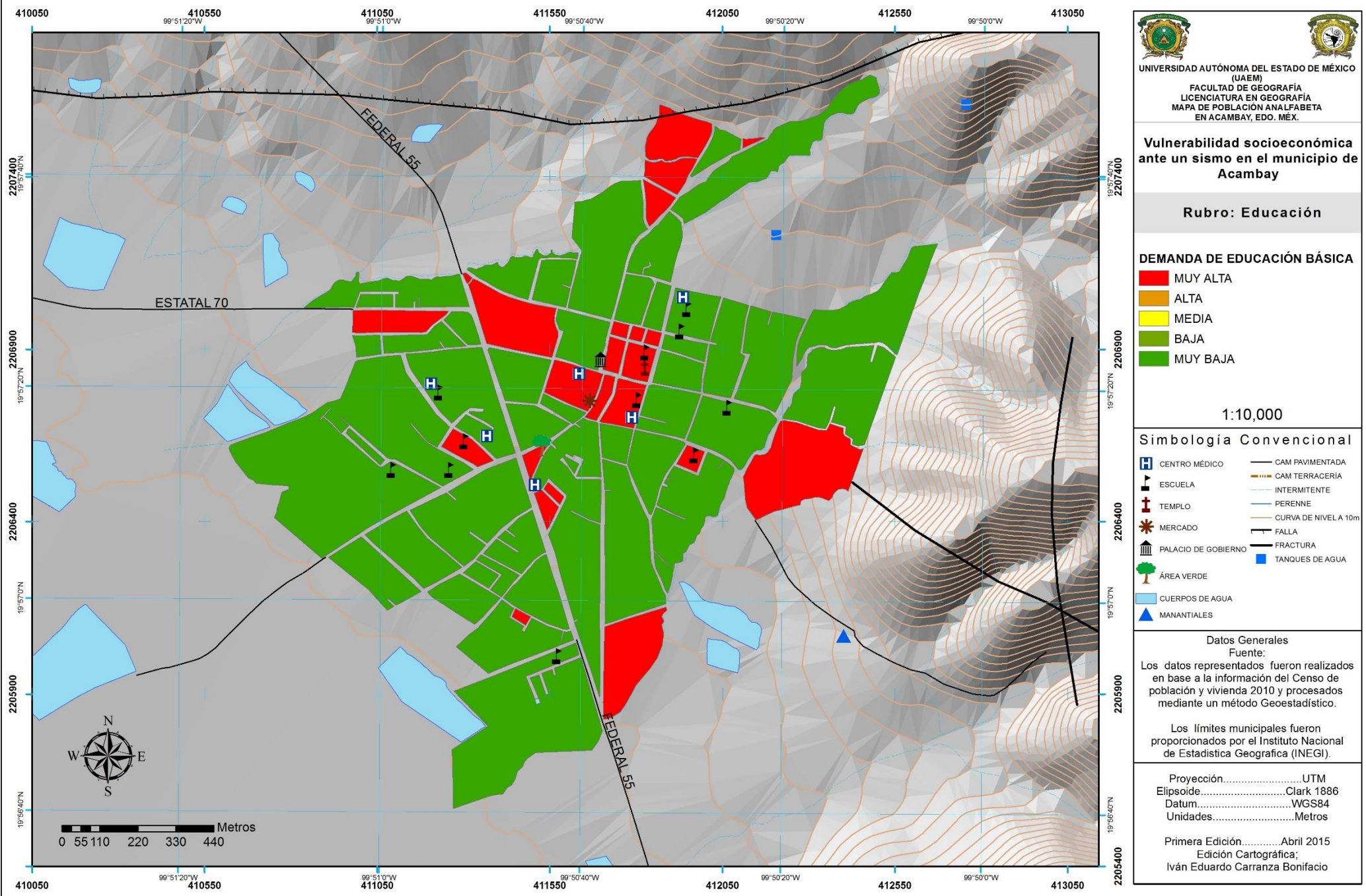


Figura 29. Demanda de educación básica, Fuente: Elaboración propia

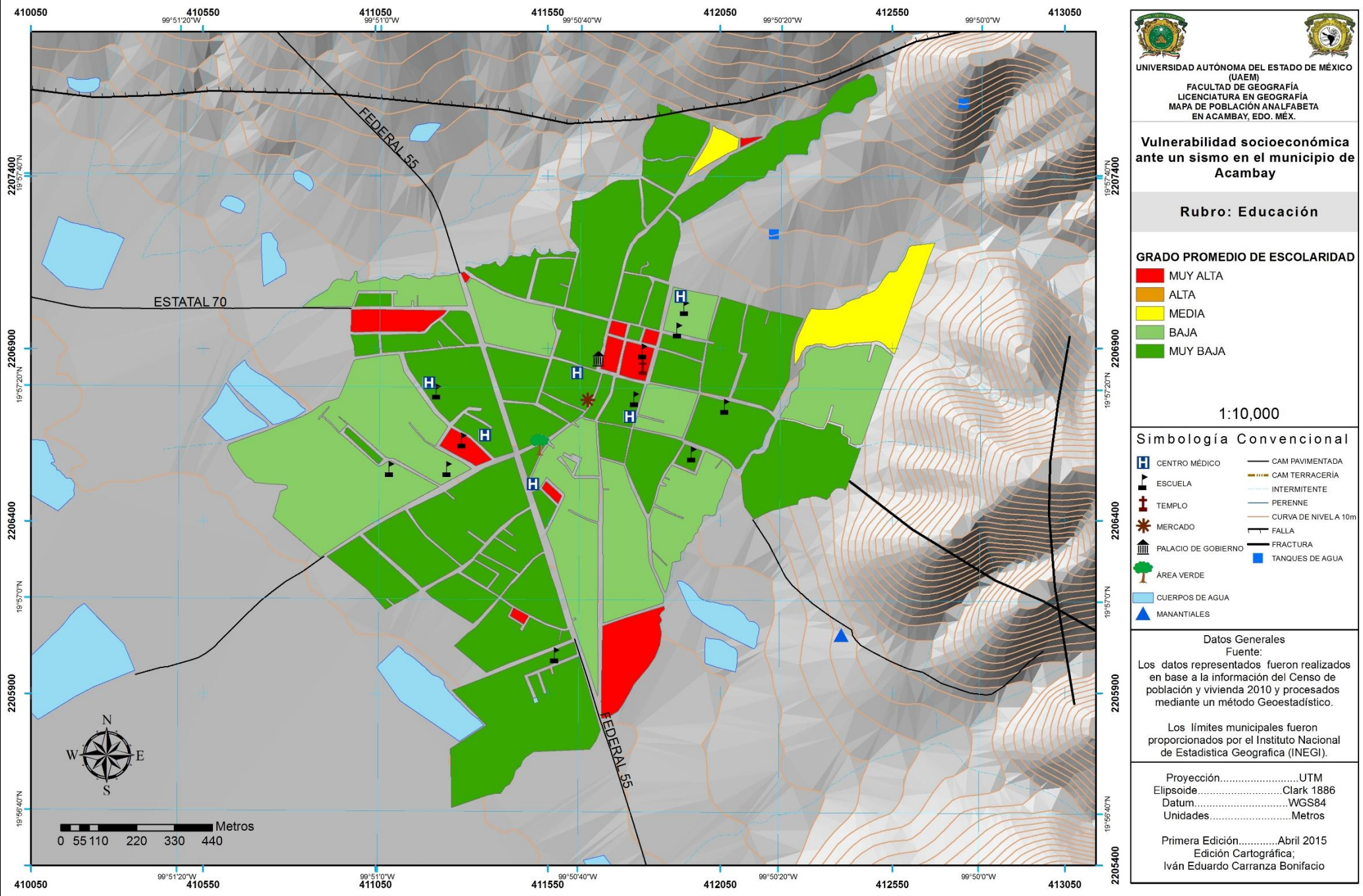


Figura 30. Grado promedio de escolaridad, Fuente: Elaboración propia

En relación con los desastres de origen natural, la **vivienda** es uno de los sectores que recibe mayores afectaciones. Los daños a la vivienda resultan ser, en algunos casos, uno de los principales parámetros para medir la magnitud de los desastres. La vulnerabilidad de una vivienda, en una de sus tantas facetas, se reflejará tanto en los materiales de construcción, como en los servicios básicos con los que cuenta o de los que carece. Cuanto a los valores obtenidos, la población cuenta con todos los servicios y son escasas las viviendas que no cuenten con ningún servicio, por lo tanto en este aspecto la vulnerabilidad es muy baja.

Rubro: Vivienda			
Indicador	Valor para la zona urbana	Condición de vulnerabilidad	Calificación promedio
Porcentaje de viviendas sin agua entubada	0	Muy baja	0
Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	0	Muy baja	
Porcentaje de viviendas con piso de tierra	0	Muy baja	

Tabla 17. Variable de vivienda, Fuente: Metodología CENAPRED

La población más afectada ante un desastre sísmico es aquella que no cuenta con la mayoría de los servicios básicos, donde la vivienda pueda ser de uno o dos cuartos y con piso de tierra, en este caso y según INEGI en su censo de población y vivienda (2010), por lo tanto la capacidad de reacción en este caso sería rápida.

En el rubro de vivienda (Tabla 17) el 99% de población cuenta con los servicios necesarios en cada una de las viviendas lo cual la disposición de agua entubada facilita las labores de preparación de los alimentos, la higiene personal y además repercute en la salud familiar. Respecto a la situación de disponer de un piso firme y con mejores condiciones de vida para erradicar las partículas nocivas del polvo y al mismo tiempo reducir problemas de salud. Por lo tanto los valores en este rubro son **Muy bajo** obteniendo así un promedio de **0**

Los indicadores de la condición de **empleo e ingresos** se refieren principalmente a una situación vulnerable tanto en el plazo inmediato, donde la condición de vida es precaria y las familias de bajos ingresos solo pueden atender sus necesidades inmediatas, y en el largo plazo, se reflejaría en cuanto a la capacidad de prevención y respuesta que potenciaría la vulnerabilidad en caso de un desastre (Garatachia, 2013). Con respecto a esta variable los valores son bajos, ya que cerca del 90% de la población cuenta con un trabajo estable lo cual le permite tener un sustento económico al presentarse un desastre.

Rubro: Empleo e ingresos			
Indicador	Valor para la zona urbana	Condición de vulnerabilidad	Calificación promedio
Razón de dependencia.	39.83	Muy Baja	0.072
Tasa de desempleo abierta	1.16	Muy baja	

Tabla 18. Variable de empleo e ingresos, Fuente: Metodología CENAPRED

Gran parte de la población de la cabecera de Acambay cerca del 100% de sus habitantes cuentan con un trabajo estable y solo el 1.16% no cuenta con un trabajo estable o se dedica a actividades primarias, lo que hace que su vulnerabilidad ante un desastre incrementa ya que no cuentan con los recursos suficientes y sus únicas ganancias son las del campo. Por lo tanto la condición de vulnerabilidad para el indicador de tasa de desempleo es **Muy baja** (Figura 32).

Con respecto a la razón de dependencia (Figura 31) las edades del total de personas que habitan en la cabecera, 2,727 (68%) tienen entre 15 y 64 años, es decir, se encuentran en edad productiva, 1,112 (28%) son niños entre 0 y 14 años y solamente 179 (4%) tienen 65 años o más, es decir, su edad productiva se considera estadísticamente terminada. Por consiguiente observamos que son más niños que ancianos lo cual los hace depender del jefe o jefa de familia, obteniendo así una condición de vulnerabilidad **Muy baja** con un promedio para el rubro de empleo e ingresos de **0.072** (Tabla 18).

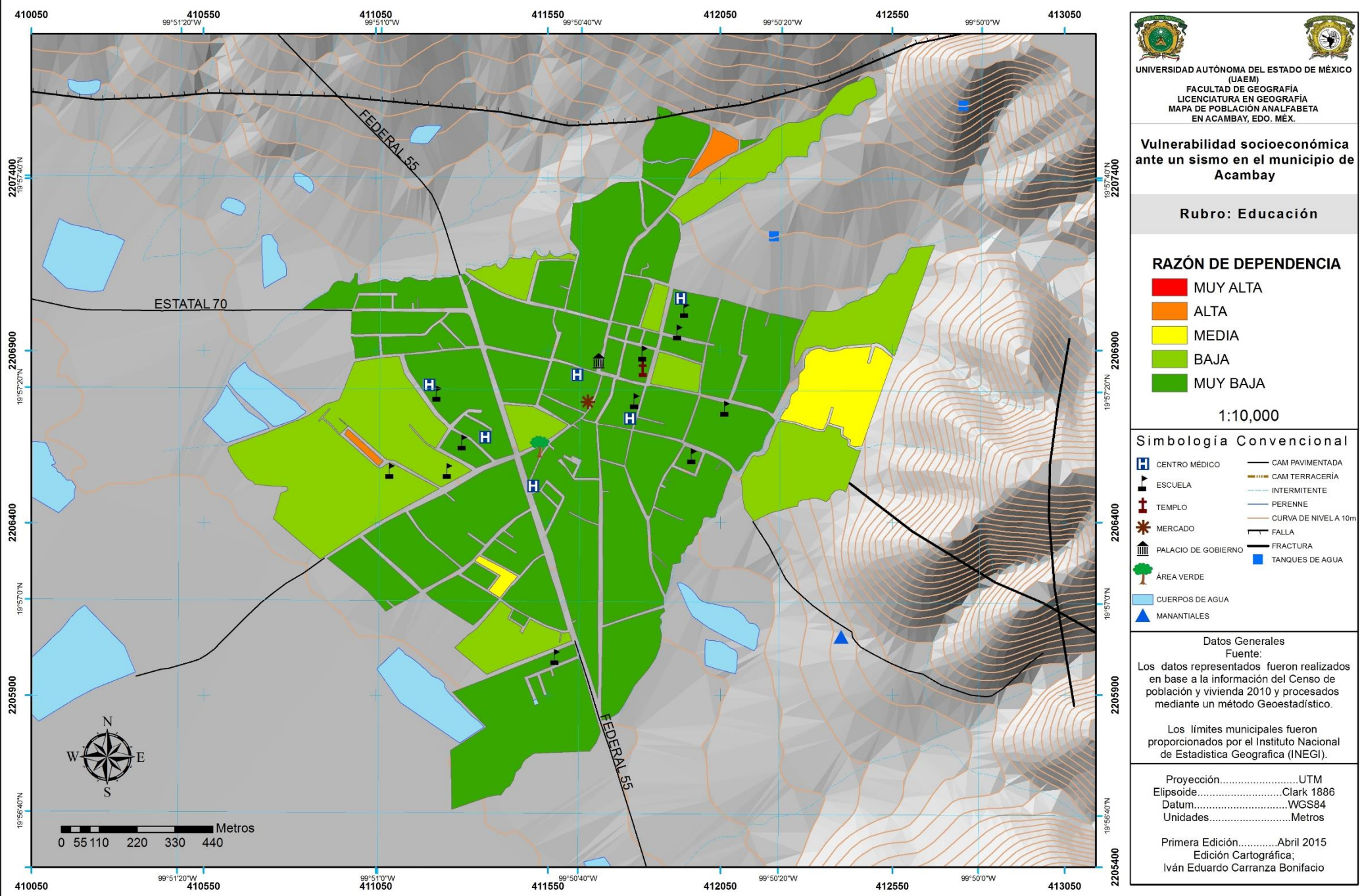


Figura 31. Razón de dependencia, Fuente: Elaboración propia

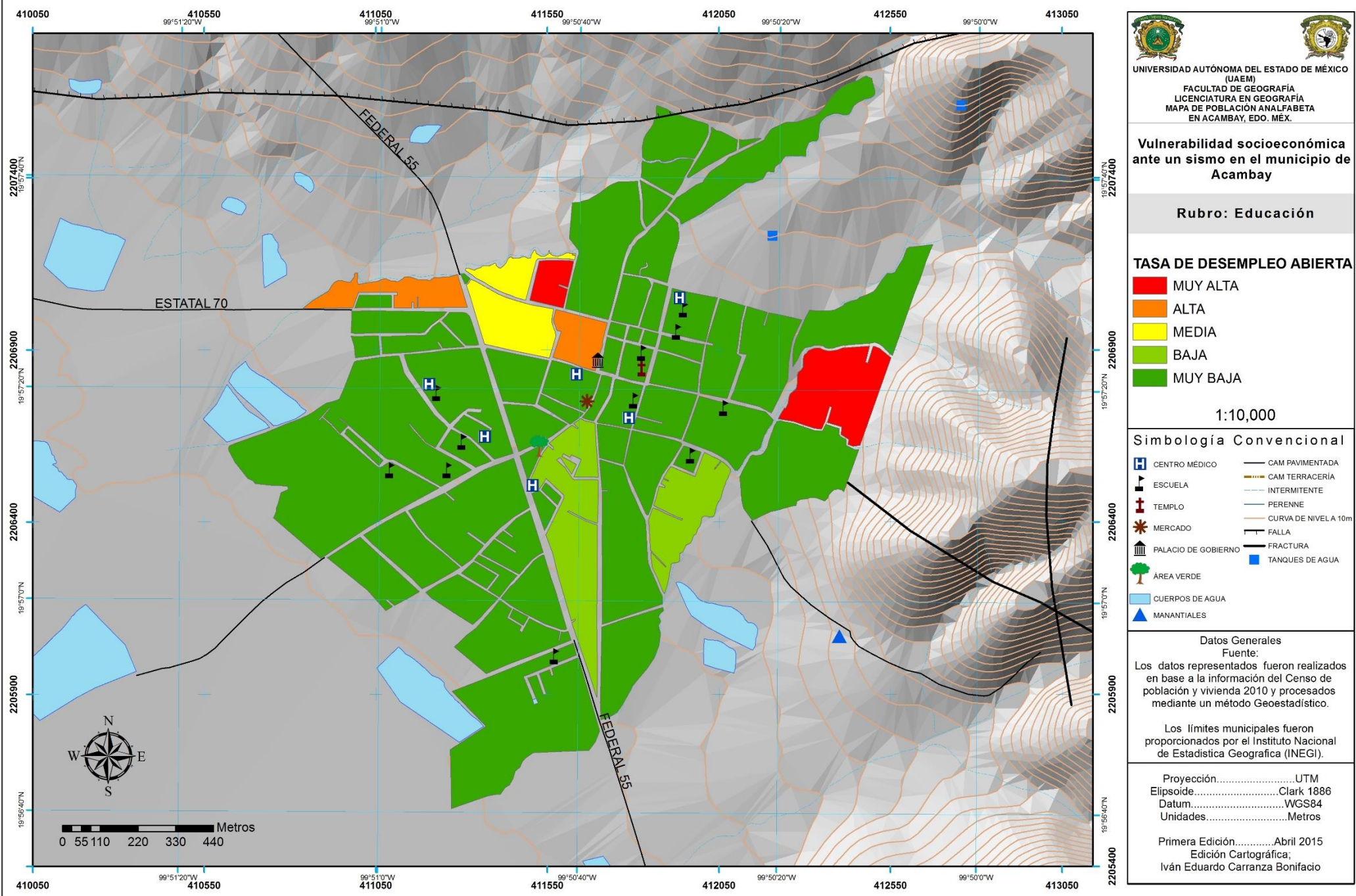


Figura 32. Tasa de desempleo abierta, Fuente: Elaboración propia

En la variable de **población** solo se consideró el aspecto relacionado a la población indígena, los cuales, de acuerdo a la metodología, sus condiciones de vida se asocian a diferencias culturales y sociales, y que a su vez representan uno los grupos más marginados del país. De tal manera existe poca población indígena en las zona urbana como lo es la cabecera municipal de Acambay ocupando solo el 1.16 %.

Rubro: Población			
Indicador	Valor para la zona urbana	Condición de vulnerabilidad	Calificación promedio
Densidad de población	2227.86	Alta	0.375
Porcentaje de la población de habla indígena.	1.16%	Predominante no indígena	

Tabla 19. Variable de población de habla indígena, Fuente: Metodología CENAPRED

La densificación o crecimiento poblacional obedece a la falta del control del suelo urbano y a políticas habitacionales que aún no han podido ser concretadas con proyectos integrales en zonas marginales sin mencionar que la población aumenta al paso de los años generando problemáticas en cuanto al uso de suelo.

Respecto al número de habitantes, la cabecera municipal de Acambay es considerado de carácter urbano, ya que según el censo de población y vivienda 2010 cuenta con un total 4,077 habitantes. La densidad de población es de 2227.86 habitantes por km² y por lo tanto la condición de vulnerabilidad es **Alta**, obteniendo para este rubro un promedio de **0.375**.

Los aspectos socioeconómicos permiten establecer las diferentes vulnerabilidades a las que está expuesta una población, y por otra parte evaluar la capacidad de recuperación ante la ocurrencia de un evento sísmico, de esta manera lleva a diferenciar las debilidades existentes y establecer cuáles podrían ser atendidas prioritariamente, para ello se evalúan según los componentes de la vulnerabilidad.

La evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica realizada solo en la cabecera municipal de Acambay a nivel de manzana muestra que, los grados de vulnerabilidad son bajos en una primera aproximación general.

Rubro	Promedio	Vulnerabilidad
Salud	0.412	<u>0.209</u>
Educación	0.190	
Vivienda	0	
Empleo e ingresos	0.072	
Población	0.375	

Tabla 20. Obtención del valor de vulnerabilidad socioeconómica, Fuente: Metodología CENAPRED

El valor general que determina el nivel de vulnerabilidad socioeconómica para la cabecera de Acambay es de **0.209** obteniendo así un grado de vulnerabilidad **Bajo** (Figura 33). A pesar de que la cabecera municipal de Acambay se encuentra cerca de la falla sísmica Acambay-Tixmadejé, existía la posibilidad de que la vulnerabilidad para afrontar un desastre (sísmico) fuera alta, pero da la casualidad de que la población cuenta con todos los servicios básicos lo cual es un punto importante, pero si este análisis se llevara a nivel municipal la variable de vulnerabilidad sería alta, ya que el municipio cuenta con localidades dispersas así como las viviendas, además de que se encuentran establecidas en lomeríos, pie de monte y sobre la falla.

No obstante cabe destacar, que los indicadores son instrumentos para lograr objetivos ambiciosos, por lo tanto, el hecho de disponer de una lista de ellos no resolverá por sí solo los desafíos que nos aguardan en el camino hacia el desarrollo local, aunque sí contribuirán a promover el mismo.

En tal sentido, es importante la desagregación de los indicadores en términos económicos y sociales a escala local. Sin embargo, esto por sí solo no posibilita una adecuada comprensión e interpretación del mismo, si no se tienen en cuenta las sub-áreas temáticas en lo social, y los subsectores en lo económico, dado que podría ocurrir que en una misma localidad co-existan mejores y peores desempeños en determinados aspectos económicos y/o sociales, como por ejemplo adecuados niveles educativos, combinados con serios problemas en el mercado laboral; crecimiento en la industria asociado a expectativas negativas de los agentes económicos; o bien mayores niveles de pobreza asociados con aumentos en el gasto social de infraestructura del gobierno.




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO (UAEM)
FACULTAD DE GEOGRAFÍA
LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA
MAPA DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA
EN LA CABECERA MPAL DE ACAMBAY, EDO. MÉX.

Vulnerabilidad socioeconómica ante un sismo en el municipio de Acambay

Vulnerabilidad Socioeconómica

Nivel de Vulnerabilidad

Alto**Medio****Bajo**

1:10,000

Simbología Convencional

CENTRO MÉDICO	CAM PAVIMENTADA
ESCUELA	CAM TERRACERÍA
TEMPLO	INTERMITENTE
MERCADO	PERENNE
PALACIO DE GOBIERNO	CURVA DE NIVEL A 10m
ÁREA VERDE	FALLA
CUERPOS DE AGUA	FRACTURA
MANANTIALES	TANQUES DE AGUA

Datos Generales

Fuente:

Los datos representados fueron realizados en base a la información del Censo de población y vivienda 2010 y procesados mediante un método Geoestadístico.

Los límites municipales fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica (INEGI).

Proyección.....UTM
 Elipsoide.....Clark 1886
 Datum.....WGS84
 Unidades.....Metros

Primera Edición.....Julio 2015
 Edición Cartográfica;
 Iván Eduardo Carranza Bonifacio

Figura 33. Mapa de vulnerabilidad socioeconómica, Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis de la capacidad de reacción

La capacidad de reacción es la habilidad de la población, las organizaciones, los sistemas, mediante el uso de los recursos y las destrezas disponibles de enfrentar y gestionar condiciones adversas, situaciones de emergencia o desastre (UNISDR, 2009).

La capacidad de afrontamiento requiere de una concientización continua, al igual que de recursos y una gestión adecuada tanto en tiempos normales como durante las crisis o condiciones adversas. Las capacidades de afrontamiento contribuyen a la reducción del riesgo de desastre. Por lo tanto la población que se encuentra en la cabecera municipal de Acambay no cuenta con los elementos de alerta temprana que sean necesarios para afrontar un desastre sísmico, es de importancia que la población empiece a generar concientización ya que los afectados en caso de un sismo van a ser la misma población.

Este factor está relacionado con la ubicación de la población en riesgo, está presente cuando hay una población que puede verse ante cualquier evento, por ello se plantea un análisis poblacional de las concentraciones además de que va acompañado de la exposición. De acuerdo a lo que plantean Ayala-Carcedo y Olcina (2002) referente a que la exposición puede variar en función del tiempo y el espacio, se considera que un aspecto que de manera concreta y con certeza puede ser evaluado, gira entorno a tres elementos en específico, el primero de ellos, la población, seguido de las escuelas y los hospitales, los cuales resultan una opción de primera mano al considerarse como estructuras críticas.

Para tener una aproximación de lo que es la exposición se tomaron valores a nivel manzana el cual fue clasificado en rangos de acuerdo a la concentración de cada uno de ellos donde se observa que la distribución espacial es uniforme, ya que cada manzana cuenta con sus propios valores como lo es la densidad de población y población total, además se muestran las unidades de salud, las escuelas y el templo de los cuales son los lugares con mayor concentración poblacional durante el día.

La concentración de población en las escuelas es de 3,341 cerca del 82% de la población total a lo que refiere es que la exposición ante un evento sísmico recaería a la población joven de lo cual la población se encuentra con un nivel de vulnerabilidad alta si se

presentase un sismo en el periodo de tiempo de 7:00 am a 14:00 pm. En el caso de los hospitales como lo es el hospital general y el centro médico ISSEMYM serían los dos centros que recibirían a la población afectada, ya que los demás centros médicos son particulares, este es un factor importante porque al ser los únicos en brindar el apoyo a la población no cuentan con el suficiente personal médico para afrontar dicho desastre, ahora bien si alguno de estos centros tuvieran alguna pérdida, ya sea de infraestructura o material médico, la vulnerabilidad aumenta más y al ser un lugar céntrico donde la población es alta, el valor de la exposición por lo tanto es alta.

La cabecera municipal no es la única donde se concentra mayor población, también es la localidad de Pueblo Nuevo, esta al encontrarse en la zona sur del valle de Acambay su valor de exposición es similar al de la cabecera, pero estas no son las únicas dos localidades, también las comunidades de Doxteje, Santa María Tixmadejé, Bochindo, La Caridad ya que estas se ubican cerca de la falla sísmica lo cual los hace vulnerables ante el fenómeno sísmico y su capacidad de reacción por lo tanto es lenta (Figura 11).

Capacidad de reacción a partir de su vulnerabilidad	
Aspectos contextuales	<p>La población de la zona urbana de Acambay cuenta con un nivel educativo básico ya que cerca del 82% asiste a la escuela, esto refriere a que conocen sobre los efectos de un sismo lo cual hace que su capacidad de reacción sea inmediata para salvaguardar su vida, ya que se encuentran ubicados cerca de la falla tectónica Acambay-Tixmadejé, uno de los principales problemas que ha tenido la comunidad es que en la carretera Panamericana que conecta con el estado de Querétaro presenta hundimientos y desniveles lo que ocasiona un peligro para la sociedad y hace que el gobierno municipal aporte más recurso para la reparación de la misma lo cual lo hace un problema constante.</p> <p>La capacidad de reacción de la comunidad puede considerarse como lenta, ya que no está equipada para afrontar dicho desastre y más aún porque no existen cursos o talleres comunitarios que permitan preparar a la población ante el evento sísmico.</p>
Definición de necesidades	La población cuenta con todos los servicios básicos, el problema es el equipo de alarmas comunitarias para prevenir en caso de sismo o de algún otro tipo de fenómeno natural, así como cursos y talleres que permitan a la población estar mejor preparada en caso de algún desastre
Mecanismos prácticos de evaluación	Existen estudios acerca de la falla Acambay-Tixmadejé donde determinan que es una zona sísmica activa, no se tiene conocimiento de que existan reuniones para tratar sobre el tema y prevenir a la comunidad. Un punto importante es que existen registros de los eventos sísmicos originados por la falla y por fallas periféricas del municipio.

Tabla 21. Capacidad de reacción a partir de la vulnerabilidad.

La capacidad de reacción de la cabecera municipal es lenta, ya que la población no está preparada ni por el gobierno municipal, ni por alguna otra institución lo cual los hace que sean vulnerables, otro aspecto es el equipo de alarmas, ya que están ayudando a estar prevenidos en caso de algún desastre. Es lamentable que no cuenten con medidas de prevención para la población ya que esto es un factor para minimizar lo mejor posible los daños ocasionados ante un proceso sísmico.

7. Escenario de riesgo sísmico

La realización del escenario de riesgo se basa en la posibilidad que un sismo de intensidad IX de la escala Mercalli Modificada con epicentro al mismo de 1912 pueda causar daños considerables, no sólo por la intensidad del sismo, sino también por el tipo de las construcciones existentes y las bajas capacidades desarrolladas en los habitantes de la zona urbana de Acambay. La articulación de los diferentes niveles de información tiene como objetivo escenificar una imagen post-evento de desastre lo más ajustada posible a la realidad.

Su contenido considera no sólo el aspecto físico, sino también el social, que es más incierta y variable, por lo que se irá buscando racionalizarla y plasmarla en una escala comparable con los otros niveles de datos disponibles.

En el caso de la zona urbana de Acambay el escenario producido para el día considera la población de la cabecera municipal, así como la concentración de personas en los lugares públicos, con una población que recurre a la zona para desarrollar diferentes actividades, entre ellas, el comercio, trabajo, estudios, etc. En este escenario el factor que determine el número de víctimas será la aglomeración de las personas tratando de salir de donde se encuentren asociado al colapso de las estructuras, por lo que existe la probabilidad de que el pánico y la desesperación provoquen muertes por asfixia y/o aplastamiento.

El escenario que se configure es bastante complejo porque considera una dimensión estructural física, pero también un componente social que es más incierto y variable.

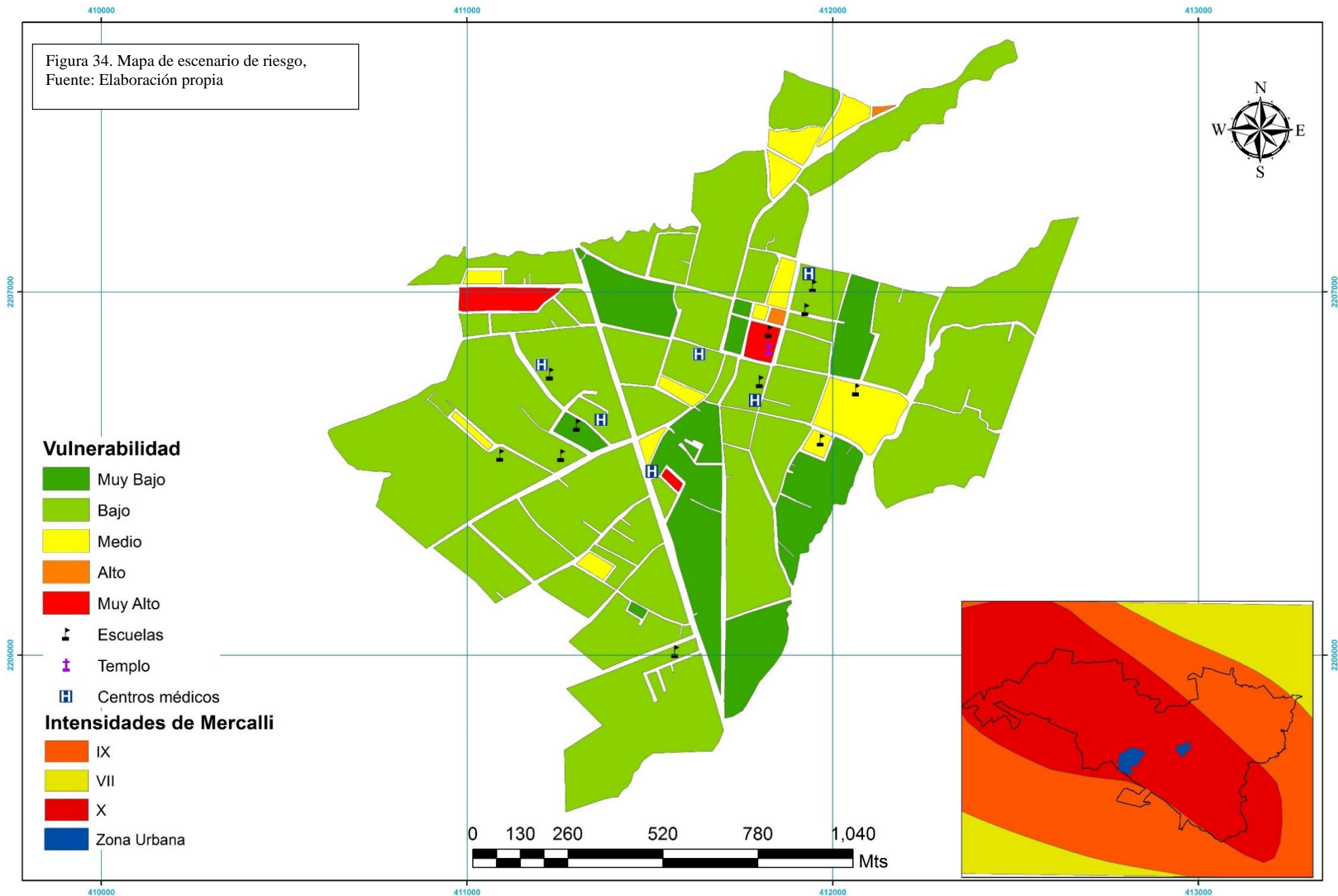
El escenario que se toma a continuación tiene las siguientes características:

1. Sismo con epicentro al mismo de 1912
2. Intensidades máximas, VIII, IX, X de la escala de Mercalli modificada
3. Hora del día 9:00 am

La cabecera municipal de Acambay frente a un evento sísmico de esta magnitud quedaría afectado por:

- Pérdidas humanas y aumento de discapacidades
- Perdidas y daños económicos
- Colapso de viviendas
- Colapso de estructuras de interés
- Colapso de infraestructura básica

Todo este escenario ocurre en primera instancia por la cercanía que se encuentran a la falla Acambay-Tixmadejé, en segunda por que cuenta con la mayor población del municipio, en tercera porque los servicios de salud se localizan en el centro de la cabecera municipal y último porque la mayoría de la población joven se encuentra en las aulas de las escuelas.



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía
Licenciatura en Geografía



**Escenario de Vulnerabilidad Socioeconómica
ante el Riesgo Sísmico
Zona urbana, Municipio de Acambay**

Conclusiones

El municipio de Acambay es sin duda una zona sísmica, dado que en la distribución espacial el crecimiento poblacional cada vez es más evidente y se puede notar en la periferia de la cabecera municipal, exponiendo a la población a peligros naturales, por desgracia en el región de Acambay solo existen estudios sobre la falla los cuales tienden más al saber del comportamiento físico que a lo que puede ser afectado a la población como se menciona en el planteamiento del problema de este estudio, es por ello que esta investigación va enfocada a lo socioeconómico de los cuales se obtuvo de forma general la vulnerabilidad.

En una siguiente etapa de esta investigación, se comenzó a realizar una aproximación de los niveles socioeconómicos de la población del cual se podría obtener un diagnóstico por medio del censo de población y vivienda 2010 (INEGI), el cual daría como concluido el primer objetivo planteado. Del diagnóstico realizado se pudo observar que la población cuenta con niveles socioeconómicos altos ya que cuentan con los servicios básicos para satisfacer sus necesidades, además de que se le considero a la cabecera municipal como la zona administrativa del municipio y no obstante en los resultados de vulnerabilidad se empezaba a considerar que los valores serian bajos.

Una vez procesados los datos socioeconómicos a nivel manzana ya aplicando la metodología planteada (CENAPRED), se obtuvieron resultados buenos donde la condicionante de vulnerabilidad para cada indicador era Bajo, por lo tanto la pérdida económica es Baja así como la vulnerabilidad socioeconómica para la cabecera municipal cumpliendo con el segundo objetivo planteado.

Del análisis de la vulnerabilidad que se obtuvo para la zona urbana como lo es la cabecera municipal de Acambay y donde los resultados fueron bajos se procedió a definir un escenario sísmico el cual establece un nivel de riesgo para la población por lo tanto se obtuvieron nuevamente valores bajos, sin tomar en cuenta elementos estructurales, de haberse tomado esto, es un hecho que en el escenario post-evento los valores resulten altos. Para poder realizar lo antes mencionado es necesario realizar un nuevo estudio de tal forma que se incluyan los elementos estructurales y estudios de suelo, ya que la investigación

presentada solo se enfoca a características de orden social y económico los cuales se consideran como ejes detonantes, ya que efectivamente son parte de la capacidad de reacción de una población ante un fenómeno perturbador como lo es el caso de un sismo así mismo según las características tanto económicas, físicas y estructurales de una población amplían la tendencia de creación de escenarios de desastres para la zona de riesgo y es así como se cumple la hipótesis planteada en esta investigación.

Como resultado de esta investigación se tiene:

- La zona urbana presenta buenas condiciones cuanto a personal médico pero no de rescate, lo que incrementa la vulnerabilidad de resiliencia.
- La vulnerabilidad más relevante corresponde a la capacidad de reacción que pueda tener la zona urbana y las localidades del municipio, sin embargo se localizan en los lugares más amenazados por la falla geológica y por otra parte, porque no cuentan con los instrumentos necesarios para afrontar un desastre sismo, además existe evidencia de que Acambay es una región sismogeneradora.
- En cuanto a la población, la mayoría conoce y sabe a lo que están expuestos, pero no cuentan con el apoyo de ninguna institución, además de que no existen cursos o/y talleres para preparar a la gente de la región.
- No cuentan con Ordenamiento Territorial.

Como conclusión encontramos que a pesar de que las condiciones de la población son buenas en general, su vulnerabilidad aumenta debido a que la capacidad de respuesta y falta de personal para auxiliar a la población es escasa. Esto ejemplifica muy bien que la relación entre pobreza y vulnerabilidad no es causal necesariamente, ya que en este caso la pobreza no fue el factor fundamental de la vulnerabilidad por sus niveles altos en la cuestión socioeconómica.

Recomendaciones

Como ya se ha mencionado, el municipio de Acambay es una región sísmica y que la población más vulnerable es la que se encuentra en la cabecera municipal por su cercanía a la falla Acambay-Tixmadejé, por lo tanto se describe una serie de recomendaciones y para que éstas se logren debe de existir un trabajo en conjunto de equipos multidisciplinarios como lo son: geógrafos, geólogos, protección civil, gobierno del municipio, ingenieros, entre otros, para así disminuir lo mejor posible la vulnerabilidad tanto de la cabecera municipal como la del municipio; iniciando con la recomendación de:

- Generar el Ordenamiento Territorial del municipio

Para reducir el grado de exposición y la desprotección, el principal instrumento es el ordenamiento territorial, que es la guía para identificar la vocación de las distintas áreas del territorio, localizar las actividades en función de la minimización de riesgos específicos y establecer mecanismos de protección.

Se hace ordenamiento territorial para proponer e implementar un uso del territorio, proyectando los aspectos sectoriales (políticas ambientales, sociales, culturales y económicos) y los aspectos territoriales (uso y ocupación) teniendo en cuenta la oferta ambiental, la demanda social, la mejor organización funcional del territorio y la posibilidad de uso múltiple del mismo, y facilitar de este modo a la administración municipal gestionar y planificar en forma concertada los programas de inversión, propendiendo por el bienestar de la población.

- Ampliar los estudios a otros ámbitos del municipio

Si bien los estudios nos indican determinadas características en el comportamiento dinámico del suelo en la zona de estudio, éste no puede asumirse como extensible a todos los ámbitos del municipio, pues podría haber tipologías de suelos diferentes dentro del territorio municipal; por ello se recomienda que la municipalidad realice los estudios correspondientes en los otros ámbitos de manera que se pueda tener una visión completa.

- Incorporar la gestión del riesgo en obras públicas

Los proyectos de obras públicas deben incorporar el componente de gestión de riesgo. Para ello, los responsables de formular los proyectos de obra pública en el ámbito municipal deben ser capacitados en temas como:

- Marco conceptual de la gestión del riesgo.

- **Análisis del Riesgo en proyectos de** obra pública.
- Desarrollo de procedimientos metodológicos para incorporar el análisis del riesgo en los proyectos de obra pública a nivel municipal.

Complementariamente, debe generarse un proceso metodológico apropiado a la gestión municipal a través del cual se puedan definir acciones concretas, en el marco de la formulación de proyectos de desarrollo municipal, para reducir la probabilidad de que una situación de riesgo se convierta en un desastre, de tal forma que un proyecto sea sostenible en el tiempo.

- **Creación de una base de datos para el registro y clasificación física de las viviendas.**

El Municipio debe disponer de normativas que lleven a declarar a las viviendas, de acuerdo a su constitución física, en inhabitables, reparables y en buen estado, siendo aplicable también a edificios públicos. Estas normativas deben permitir en primera instancia asegurar la demolición de las viviendas clasificadas como inhabitables.

- **Difusión del contenido de los estudios: implementar cursos, talleres, materiales de difusión (folletería)**

El municipio y protección civil, ya sea del estado o del municipio, deben difundir el contenido de estudios (considerando esta investigación) de estimación de riesgos, así como las medidas correctivas y haciendo uso de los mapas de distribución de riesgos, así como las medidas correctivas, prospectivas y de preparación ante un sismo de gran magnitud, siendo

esta actividad la única manera de ayudar a que la población alcance un mayor nivel de preparación y sobretodo capacidad de respuesta ante la ocurrencia del evento. Solo la educación y la práctica continua ayudaran a que la población sea menos vulnerable.

- **Promover los simulacros: Diurno/Nocturno, preparación, organización, concursos, etc.**

Promover, dentro de un programa municipal de gestión de riesgos, la realización continua –uno por mes- de simulacros de sismos, asumiendo situaciones en diversos grados crecientes a fin de simular todas las situaciones posibles, individuales y comunales, ante la ocurrencia de un sismo.

- **Preparación del sector salud para la adecuada evacuación ante emergencia sísmica**

En los establecimientos de salud, que tengan hospitalización y atención de emergencia, ameriten una atención especial en el diseño de los mecanismos adecuados para la evacuación de los pacientes. Así mismo la preparación adecuada del personal sobre procedimientos de evacuación, porque se trata de evacuar a personas en condición de pacientes hospitalizados; por lo tanto, con limitaciones para desplazarse, hecho que condiciona también el desplazamiento del personal médico y administrativo por tener que auxiliarlos.

- **Establecer sistemas de alerta comunitaria: comunidad, instituciones, comercios**

Para reducir los riesgos por incapacidad de reacción inmediata en el caso de emergencia, es indispensable establecer sistemas de alerta temprana para cada tipo de amenaza y desarrollar capacidad de reacción de las comunidades en riesgo.

Todo proceso participativo como la evacuación requiere sistemas de comunicación masiva o de alerta que permita comunicar el inicio de un evento catastrófico en la comunidad, por ello el municipio debe promover e incentivar el establecimiento de sistemas de alerta comunitaria, dentro de la comunidad, las instituciones, escuelas, comercios, etc. estableciendo los protocolos necesarios para su uso adecuado.

- **Elementos no estructurales para la reducción de la vulnerabilidad**

Para reducir la vulnerabilidad por incapacidad de recuperación básica, es necesario contar con planes y organizaciones de contingencia, con capacidad para actuar de la manera más eficaz en el menor tiempo posible y restaurar los servicios básicos.

Para reducir la vulnerabilidad por incompetencia para la recuperación permanente del ecosistema es necesario la disponibilidad de mecanismos que permitan formular y adelantar eficaz y eficientemente planes de reconstrucción y desarrollo.

Como se observa los elementos no estructurales para la reducción de la vulnerabilidad tienen base local, es decir, nacen del conocimiento del riesgo específico y del desarrollo de mecanismos para su manejo en el ámbito local y con base en la comunidad local. Los sistemas de prevención de desastres se rigen a partir de lo local (Vargas, 2002).

Bibliografía

- Abou, B., y Lee, C. (2005). *Evaluación del riesgo sísmico en escuelas tipo antiguo II*. Caracas: Ingeniería Civil-UCV.
- Adamo, S. (2012). *Vulnerabilidad Social*. Buenos Aires: CIESIN.
- Aguirre, G. J. (1996). Volcanic stratigraphy of the Amealco caldera and vicinity central Mexican volcanic belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 13(núm. 1), 10-51.
- AMMON, y Charles, J. (11 de Agosto de 2001). *An Introduction to Earthquakes & Earthquake Hazards*. Recuperado el 21 de Mayo de 2014, de SLU EAS-A193. Class Notes. Saint Louis University: eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/NotesDirectory.html
- Astiz, L. M. (1980). Sismicidad en Acambay, Estado de México-El temblor del 22 de febrero de 1979. (F. d. Ingeniería, Ed.) *Unpublished Doctoral Thesis*, 130.
- Ayala, F. J., y Olcina, J. (2002). *Riesgos Naturales*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Barbat, A. H., y Pujades, L. (2004). Evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico, Aplicación Barcelona. *6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica*, 231-252.
- Bolt, B. (2003). *Terremotos*. España: Reverte.
- Bonett, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios: aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Bozzo, y Barbat. (2004). *Diseño sismoresistente de edificios*. Barcelona: Reverté.
- Británica, y Ciencia, G. A. (2012). *Terremotos y Tsunamis*. Barcelona: Sol 90.
- Campos., A. (1992). *Mitigación del Riesgo Sísmico en Cali. "Programa de Mitigación de Desastres en Colombia"*. Informe Final. Cali: Universidad del Valle.
- Cantillo, P. R. (2010). *Protección Antisísmica en México: Avances y Retos por Afrontar*. México: Centro de Prospectiva y Debate.

- Capa, V. (14 de Agosto de 2013). *Los movimientos sísmicos y sus efectos destructivos en los edificios*. Recuperado el 21 de Mayo de 2014, de Crónica las noticias del día: <http://www.cronica.com.ec/index.php/opinion/item/68231-los-movimientos-s%C3%ADsmicos-y-sus-efectos-destructivos-en-los-edificios>
- Cardona, A., y Omar, D. (1999). *Vulnerabilidad sísmica de hospitales, fundamentos para ingenieros, arquitectos y administradores*.
- CENAPRED. (1999). *Curso sobre diseño y construcción sismorresistente en estructuras*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED. (2011). *Sismos. Serie Fascículos*.
- CEPAL. (2000). *Un tema de desarrollo: La Reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres*. México: BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO-COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE.
- Díaz, J. L., y Hernández, J. R. (1990). *Neotectónica y Análisis Morfoestructural*. Toluca, Estado de México: UAEM.
- EIRD-Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU). (2004). *Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. (A. Kofi A., Ed.) Recuperado el 30 de Noviembre de 2014, de Evaluación del Riesgo: <http://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/capitulos/ch2-section3.pdf>
- Espinosa, L. M., y Hernández, J. R. (2014). *Movimientos Téctonicos Verticales Recientes en la Zona Sismogeneradora de Acambay, México, Mediante Métodos Geodésicos*. Toluca: UAEM.
- FAO. (2007). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Roma: IUSS, ISRIC, FAO.
- Garatachia, R. J. (2013). *Evaluación del riesgo sísmico en el área urbana de Tijuana, Baja California, mediante el uso de una plataforma de sistema de información geográfica*. Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de Méxcio.
- Garduño, M. V., y Israde, A. I. (s.f.). ESTUDIOS DE DEFORMACIÓN Y PALEOSISMOLOGÍA EN LAS SECUENCIAS LACUSTRES ASOCIADAS AL SISTEMA DE FALLAS MORELIA-

- ACAMBAY, MÉXICO. *GEOLOGÍA ESTRUCTURAL, TECTÓNICA Y TECTONOFÍSICA*, GET-07.
- Garduño, M. V., Pérez, L. R., Israde, A. I., Rodríguez, P. M., Szyuka-ruk, E., Hernández, M. V., Ostroumov, M. (2009). Paleoseismology of the southwestern Morelia-Acambay fault system, central Mexico. *Geofísica Internacional*, 319-335.
- González, F., y Contreras, M. (2001). *Análisis de Fenómenos Naturales que Representan Amenaza en el Municipio de Acambay, Estado de México*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hernández, U. M. (2002). *Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas*. Barcelona: UPC.
- Langridge, R. M., Persaud, M., Zuñiga, F., De Jesús, G., Villamor, P., y Lacan, P. (2013). Preliminary paleoseismic results from the Pastores fault and its role in the seismic hazard of the Acambay graben, Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 30(núm. 3), 463-481.
- Langridge, R. M., Weldon II, R. J., Moya, J. C., y Suárez, G. (10 de Febrero de 2000). Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadej fault, Trans-Mexican Volcanic Belt. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 105(B2), 3019-3037.
- Lomnitz, C. (1999). *Los Temblores*. México DF: Tercer Milenio.
- López, E. (1976). *Compilador, Carta de la Republica Mexicana* (4 ed.). DF: Comité de la Carta Geológica de México.
- López, M. A. (3 de Octubre de 2012). *Sistema Nacional de Protección Civil México*. Recuperado el 18 de Mayo de 2014, de Sismos, Informate, Prepárate y Actúa: http://sismos.gob.mx/en/sismos/Que_es_un_sismo
- Lugo, E., y Ruiz, A. (2012). *Acambay, 100 años después*. Acambay: Ayuntamiento de Acambay.
- Madrigal, D., Franco, R., Espinosa, L., Gonzáles, M., y Reyes, A. (2010). Caracterización de las regiones tectónicas del Estado de México a través de la aplicación de geotecnologías. *Revista Geográfica*, 15-36.
- Martínez, J., y Nieto, A. (1990). Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México. (I. d. Geología, Ed.) *Revista*, vol. 9(num. 1), 33-50.

- Medina, F. (1997). *Sismicidad y Vulcanismo en México*. México DF: La ciencia.
- Méndez, C. (2010). *Percepción del riesgo por remoción en masa en la población de Tixmadejé-Acambay, Estado de México*. Toluca: UAEM.
- Montezuma, D. (2010). *Determinación de Áreas de Riesgo Sísmico, Estado de Sucre, Venezuela*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Núñez González, F., y Vargas Castro, J. (Julio-Septiembre de 1992). Alternativa de clasificación municipal para el Estado de México. *IAPEM*(15), 82-84.
- Orosco, y Villegas. (2007). *Potencial Destructivo de Sismos (Primera Parte)*.
- Peña, M. J., y Vergara, N. L. (2004). *Peligro Sísmico en el Municipio de Acambay*. Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de Mexico.
- Peralta, H. A. (2002). *ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD Y DE DAÑO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA DE UNO Y DOS PISOS EN EL BARRIO SAN ANTONIO, CALI, COLOMBIA*. Colombia: Universidad del Valle.
- Pizarro, R. (2001). *La vulnerabilidad social y sus desafíos: Una mirada desde America Latina*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Quintero, N. D., y Rojas, J. A. (2011). *NIVELES DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN EDIFICACIONES DE LA PARROQUIA CATEDRAL DEL MUNICIPIO LIBERTADOR DE CARACAS*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Ramírez, H., Pichardo, B., y Arzate, C. (2007). Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas en zonas urbanas. *Revista Académica de la FI-UADY*, 13-23.
- Rodríguez, y Aristizábal. (19 de Septiembre de 1998). *Capacidad destructiva de sismos*. Recuperado el 21 de Mayo de 2014, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4121/Capitulo3.pdf>
- Roja, F. I. (20 de Abril de 2012). *¿Qué es la vulnerabilidad?* (IFRC, Editor) Recuperado el 28 de Abril de 2015, de <http://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/que-es-un-desastre/que-es-la-vulnerabilidad/>
- Ruiz, N. (2011). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas*, 63-74.
- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Bogotá: Panamericana.

- Sánchez, F. J. (1989). *Efectos de Sitio en Movimiento Fuerte del Terreno*. V Seminario Internacional Sobre Ingeniería Sísmica. Bogotá: Universidad de los Andes.
- SGM. (14 de Junio de 2014). *Evolución de la Tectónica en México*. (S. G. Mexicano, Editor) Obtenido de <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/riesgos/tectonica/evolucion-tectonica-mexico>
- SGM. (21 de Marzo de 2014). *Sismología en México*. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de Riesgos geológicos: <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/riesgos/sismos/sismologia-de-mexico>
- Sitter, L. (1976). *Geología Estructural*. Barcelona: Omega.
- Sutter, M., López, M., Quintero, O., y Carrillo, M. (2001). Quaternary intra-arc extension in the central TransMexican volcanic belt. *Geological Society of America Bulletin*, 113, 693-703.
- Ugalde, A. (2009). *Terremotos Cuando la tierra tiembla*. España: CSIC.
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastre*. Naciones Unidas.
- Urbina, F., y Camacho, H. (1913). La zona megasísmica Acambay-Tixmadejé. *Instituto Geológico de México*(Boletín 32), 175.
- USGS, S. (09 de Marzo de 2011). Recuperado el 20 de Noviembre de 2014, de ShakeMap Scientific Background: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/background.php#intmaps>
- Vargas, J. E. (2002). *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Vizconde, A. (2004). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UN EDIFICIO EXISTENTE: CLÍNICA SAN MIGUEL, PIURA*. Piura: Universidad de Piura.
- Wilches, C. (1989). *Citado por Montezuma Dayana en Determinación de áreas de riesgo sísmico*. Estado de Sucre, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.